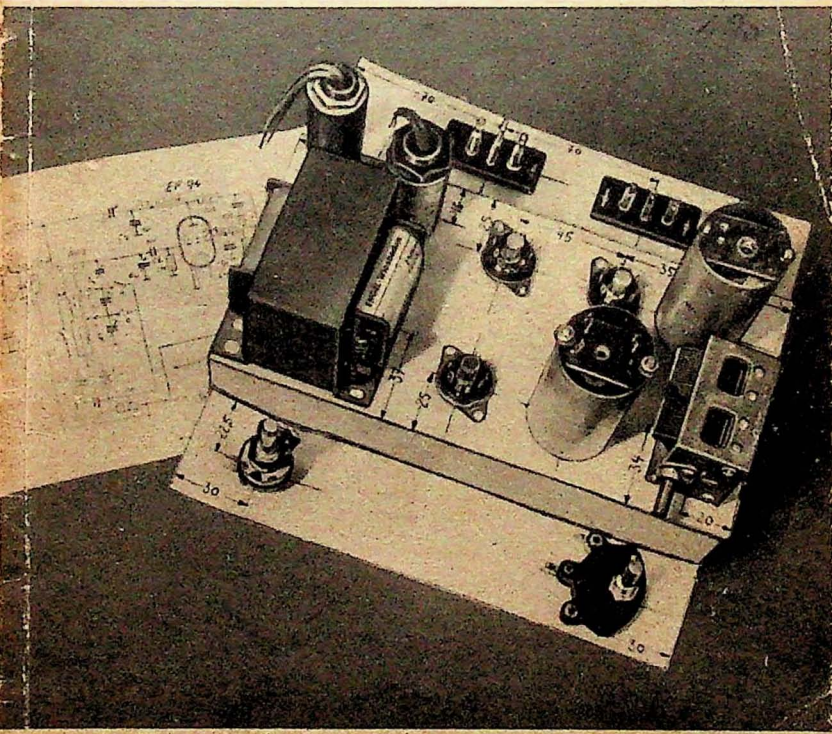
radio PRAKTIKER bücherei

WERNER W. DIEFENBACH

Bastelpraxis

Band II. Theoretische und praktische Grundlagen



76

FRANZIS-VERLAG · MÜNCHEN

radio PRAKTIKER bücherei

Leicht verständlich, aber technisch zuverlässig, inhaltreich und doch billig sind alle Bände dieser radio- und fernsehtechnischen Bücherei. Namhafte Autoren sind ihre Mitarbeiter, die sich diesem Vorhaben in der richtigen Erkenntnis zur Verfügung stellten, daß es heute mehr denn je darauf ankommt, jedem einzelnen Interessenten, vor allem auch dem Lernenden, dem Schüler, Studenten und Lehrling, den Aufbau einer kleinen radio- und fernsehtechnischen Bibliothek zu ermöglichen. Deshalb wurden Umfang, Ausstattung und Preis so aufeinander abgestimmt, daß für den aufzuwendenden niedrigen Betrag ein Optimum an Wissensstoff und Unterlagen geboten werden kann.

Ausführliches Verzeichnis am Schluß des Heftes oder gratis durch den Buchhandel

Jede Nr. 64 Seiten
mit vielen Bildern

DIE NEUESTEN BÄNDE

* Auch in Ganzleinen erhältlich.

Schwebungssummer. Nr. 78
Von *Herbert Lennartz*. Mit 42 Bildern. 2. Auflage.

Bastelpraxis, Band III. Prakt. Aufbau von einfachen Prüfgeräten und Empfängern vom Detektor bis zum Super. Nr. 79/79a *
Von *Werner W. Diefenbach*. Mit 138 Bildern. 4. u. 5. Aufl.

Das Spulenbuch (Hochfrequenzspulen). 2. u. 3. Aufl. Nr. 80/80a
Von *H. Sutaner*. Mit 78 Bildern, 14 Tab., 12 Nomogr.

Die elektrischen Grundlagen der Radiotechnik. 4. bis 6. Aufl. Nr. 81/83a *
Von Ing. *Kurt Leucht*. Mit 159 Bildern u. vielen Tabellen.

Fernsehantennen-Praxis. 5. und 6. Auflage. Nr. 84
Von *Herbert G. Mende*. Mit 38 Bildern und 7 Tabellen.

Hi-Fi-Schaltungs- und Baubuch. Nr. 85
Von Ing. *Fritz Kühne*. Mit 33 Bildern und 3 Tabellen.

Berufskunde des Radio- und Fernsehtechnikers. Nr. 86/87
Vom Lehrling zum Meister. Von Dipl.-Ing. *Georg Rose*.

Schliche und Kniffe für Radiopraktiker Teil II. Nr. 88
Erfahrungen aus Werkstatt und Labor. Von *Fritz Kühne*.
Mit 57 Bildern.

Autoempfänger. Einbau, Antennen und Funkentstörung. Nr. 89/90a
Von *Eckhard-Heinz Manzke*. Mit 108 Bildern und 7 Tabellen.

Superhet-Empfänger. Nr. 91/92
Von *H. Sutaner*. Mit 107 Bildern.

Fernsteuerschaltungen mit Transistoren für Flugmodelle. Nr. 93/94
Von *Helmut Bruß*. Mit 75 Bildern. 2. und 3. Auflage.

Fotozellen und ihre Anwendung. Von *L. Beitz* Nr. 95/96
und *H. Hesselbach*. Mit 102 Bildern und 5 Tabellen.

Kleines Stereo-Praktikum. Nr. 97/98
Von Ing. *Fritz Kühne* und *Karl Tetzner*. Mit 93 Bildern.

Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszillografen? Nr. 99
Von *H. Sutaner*. Mit 87 Bildern.

Bastelpraxis

Von

WERNER W. DIEFENBACH

Einführung in die Selbstbautechnik von Rundfunkempfängern mit vielen praktischen Beispielen und Bauanleitungen für Detektor-, Geradeaus- und Superhetempfänger sowie Verstärker, KW-Geräte und Zusatzeinrichtungen

Band II

Theoretische und praktische Grundlagen

Mit 78 Bildern und 9 Tabellen

4. und 5. Auflage

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

Verlag der G. Franz'schen Buchdruckerei G. Emil Mayer

Heft 76 der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

4. und 5. Auflage (24. bis 34. Tausend)

Band I behandelt die Allgemeine Arbeitspraxis (64 Seiten mit 50 Bildern; Heft 71 der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI), Band III den praktischen Aufbau von einfachen Prüfgeräten und Empfängern vom Detektor bis zum Super, dazu Verstärker, KW- und Zusatzgeräte (136 Seiten mit 138 Bildern; Heft 79/79a der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI).

Ein Stichwortverzeichnis für alle drei Teile befindet sich am Schluß von Band III

Sämtliche Rechte — besonders das Übersetzungsrecht — an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Bilder, auch in verändertem Zustand, sind verboten.

1961

Druck: G. Franz'sche Buchdruckerei G. Emil Mayer, München 37, Karlstraße 35
Printed in Germany

Vorwort

Der erste Band der aus drei Teilen bestehenden RPB-Reihe „Bastelpraxis" führt in die allgemeine Arbeitstechnik ein, er unterrichtet über Werkstoffe und Arbeitsverfahren und gibt Ratschläge für die Einrichtung einer Bastelecke sowie für den Selbstbau von mechanischen Einzelteilen und Zubehör.

In dem vorliegenden zweiten Band wird der angehende Praktiker in die theoretischen und praktischen Grundlagen eingeführt, die er beherrschen muß, wenn er sich mit Erfolg auf dem Gebiet der Basteltechnik betätigen will. Der Abschnitt über wichtige elektrotechnische Grundlagen ist ebenso wie das Kapitel über das unentbehrliche funktechnische Grundwissen weitgehend auf die Praxis bezogen. Die wenigen angegebenen Formeln werden durch praktische Berechnungsbeispiele erläutert, so daß jeder damit umzugehen weiß. Ferner bemühte sich der Verfasser, bei der Erörterung der theoretischen Grundbegriffe jeweils auf die praktische Anwendung hinzuweisen.

Das aufschlußreiche Kapitel über die Konstruktionstechnik vermittelt eine Fülle bewährter Arbeitsverfahren von der Anordnung der Einzelteile bis zum Gehäusebau. Hier sind viele praktische Ratschläge angegeben, die Zeit und Geld sparen helfen und gleichzeitig einen Ausweg aus bestehenden Materialschwierigkeiten zeigen. Diese Ausführungen muß man durchgearbeitet haben, bevor man mit der Arbeit beginnen kann.

Ein dritter Band enthält Bauanleitungen erprobter Selbstbauempfänger vom Detektor bis zum Super sowie einfacher Prüf- und Meßeinrichtungen. Der Text dieses Bandes ist so gestaltet, daß man aus der Praxis spielend leicht die Zusammenhänge der Radiotechnik begreifen lernt.

Kempten/Allgäu

Werner W. Diefenbach

Inhalt

VII. Wichtige elektrotechnische Grundlagen 65

1. Spannung, Strom, Widerstand 65
2. Das Ohmsche Gesetz 68
3. Elektrische Leistung 72
4. Kapazitäten und Kondensatoren 74
5. Induktivitäten und Spulen 81
6. Magnetische Kopplung und Transformatoren 86

VIII. Unentbehrliches funktechnisches Grundwissen 90

1. Der elektrische Schwingungskreis 90
2. Resonanzwiderstand bei Parallel- und Serienresonanz . 91
3. Frequenz, Wellenlänge und Frequenzbereiche 93
4. Güte und Dämpfung des Schwingungskreises 94
5. Abstimmkreis und Bandfilter 95
6. Elektronenröhren 97

IX. Praktische Konstruktionstechnik 104

1. Anordnung der Einzelteile 104
2. Montage 108
3. Abschirmung 110
4. Verdrahtung 111
5. Selbstbau von Skalen 115
6. Ratschläge für den Gehäusebau 119

VII. Wichtige elektrotechnische Grundlagen

Wie die Erfahrung beweist, benötigt jeder, der sich mit der Radiotechnik befaßt, ein gewisses Minimum an elektrotechnischen Grundkenntnissen. Man kann darauf nicht verzichten, denn die Radiotechnik stützt sich vielfach auf die allgemeine Elektrotechnik. Manches funktechnische Problem läßt sich aus der Kenntnis der elektrotechnischen Zusammenhänge erklären.

Die wichtigsten elektrotechnischen Grundlagen muß jeder Radiopraktiker beherrschen, gleichgültig, welche Tätigkeit er ausübt. Man sollte sie sich aneignen, auch wenn nur der Nachbau bestimmter Geräte beabsichtigt ist. Man muß andererseits die Zusammenhänge verstehen und auch einfachere Rechnungen ausführen, wenn beabsichtigt ist, eigene Konstruktionsideen zu verwirklichen. In den folgenden Ausführungen wird daher auf wichtige Grundlagen eingegangen. Sie sind kurz gefaßt. Für das genaue Studium steht einschlägige Spezialliteratur zur Verfügung[1]).

1. Spannung, Strom, Widerstand

Unter dem elektrischen Strom verstehen wir die Bewegung kleinster Elektrizitätsteilchen, der Elektronen, in einem Leiter. Durch das Metall fließt ein Elektronenstrom. Wir können den elektrischen Leiter mit einem Flußbett vergleichen, in dem das Wasser durch das Gefälle zu fließen beginnt. Das Gefälle des elektrischen Stroms ist die elektrische Spannung.

Einer der beiden Punkte, zwischen denen eine Spannung herrscht, ist stärker mit Elektronen besetzt als der andere. Durch die Spannungsvorzeichen Plus (+) und Minus (—) gibt man an, welcher Punkt größeren oder geringeren Elektronen-Inhalt aufweist. Diese Vorzeichen wurden zu einer Zeit festgesetzt, in der man über das Wesen der Elektrizität noch wenig Bescheid wußte. So ist es zu erklären, daß man das positive Zeichen für die Stelle mit geringerem Elektronen-

1) Empfehlenswert: „Lehrgang Radiotechnik" von Ferdinand Jacobs, Band I und II, RP-Bücherei Nr. 22/23 und 24/25, Franzis-Verlag München.

Inhalt und das negative für den Punkt mit größerem Elektronen-Inhalt wählte.

Der Strom fließt von Minus (—) nach Plus (+). Früher nahm man umgekehrte Stromrichtung an. Um klare Verhältnisse zu schaffen, legte man fest, daß die Stromrichtung stets entgegengesetzt der Richtung des Elektronenflusses aufzufassen sei. Darauf müssen wir achten, wenn ein Meßinstrument in einen Gleichstromkreis geschaltet werden soll. Der

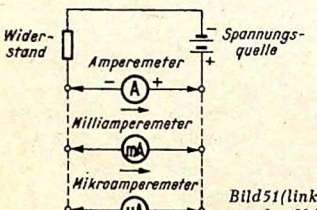


Bild 51 (links). Meßinstrument (Ampere-, Milliampere- oder Mikroamperemeter) in einem Stromkreis

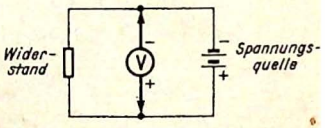


Bild 52. Spannungsmessung.

Plus-Pol des Instrumentes A liegt stets dem Plus-Pol der Spannungsquelle am nächsten **(Bild 51)**. Als Maßeinheit für die Stromstärke dient das Ampere (A)[1]. In der Praxis sind für kleinere Ströme die Bezeichnungen Milliampere (mA) und Mikroampere (µA) gebräuchlich.

Umrechnung der Stromwerte

A	mA	µA	mA	µA
1	1000	1 000 000	1	1000

Für Strommessungen verwendet man Amperemeter, Milliamperemeter oder Mikroamperemeter (Bild 51).

Die Spannung wird in Volt[2] angegeben. Für kleine Spannungen sind die Maßeinheiten Millivolt (mV) und Mikrovolt (µV) üblich, während für höhere Spannungen die Bezeichnung Kilovolt (kV) praktischer ist.

1) Nach André Maria Ampère benannt, französischer Physiker 1775 bis 1836.
2) Nach Alessandro Volta, italienischer Physiker, 1745 bis 1827.

Umrechnung der Spannungswerte

kV	V	V	mV	µV	mV	µV
1	1000	1	1000	1 000 000	1	1000

Zu Spannungsmessungen dienen Voltmeter, die parallel zu der zu messenden Spannung anzuschließen sind (**Bild 52**). Fließt der Strom durch einen Widerstand, so entsteht zwischen den Enden des Widerstandes ein Spannungsunterschied. Man spricht dann von einem Spannungsabfall.

Ein anderer wichtiger Begriff ist der Widerstand. Die Elektronen müssen einen größeren Widerstand überwinden, wenn sie einen dünneren und (oder) längeren elektrischen Leiter durchfließen. Der jeweilige Widerstandswert hängt vom Material des Leiters, von dessen Querschnitt und Länge sowie von dessen Temperatur ab. Es leuchtet ein, daß — bei gegebener Spannung — die Größe des Widerstandes den jeweiligen Wert des elektrischen Stromes bestimmt. Größere Widerstände ergeben kleinere Ströme und umgekehrt. Als Maßeinheit für den Widerstand gilt die Bezeichnung Ohm (Ω) [3]. Es sind ferner die abgeleiteten Maßeinheiten Megohm (MΩ) und Kiloohm (kΩ) gebräuchlich.

Umrechnung der Widerstandswerte

MΩ	kΩ	Ω	kΩ	Ω
1	1000	1 000 000	1	1000

In der Physik und in der allgemeinen Technik spricht man mitunter vom „spezifischen" Widerstand. Darunter verstehen wir den Widerstand eines Drahtes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt. Die spezifischen Widerstandswerte für Kupfer und Eisen sind z. B. 0,017 Ω bzw. 0,1...0,2 Ω, für Chromnickel 1,16 Ω und für Graphit 20...1000 Ω.

Die Temperaturabhängigkeit von Widerständen ist je nach dem elektrischen Leiter verschieden. Ganz allgemein nimmt der Widerstand von Metallen bei Erwärmung zu; umgekehrt

[3] Nach Georg Simon Ohm, deutscher Physiker, 1789 bis 1854.

nimmt der Widerstand von Kohle und gewissen chemischen Verbindungen bei Erwärmung ab.

2. Das Ohmsche Gesetz

Den Zusammenhang zwischen Spannung, Strom und Widerstand drückt das nach dem deutschen Physiker Ohm benannte Ohmsche Gesetz aus.

$$I = \frac{U}{R}$$

I = Stromstärke in Ampere (A) bzw. Milliampere (mA)
U = Spannung in Volt (V) bzw. Kilovolt (kV)
R = Widerstand in Ohm (Ω)

Für die Rechenpraxis kommen je nach dem gesuchten Wert folgende Formeln in Betracht:

$$I = \frac{U}{R} \qquad U = I \cdot R \qquad R = \frac{U}{I}$$

Beispiel: Bestimme den durch einen 1600-Ω-Widerstand fließenden Strom, wenn an den Widerstandsenden eine Spannung von 200 Volt liegt!

Gegeben: Spannung U = 200 Volt, Widerstand R = 1600 Ω

Gesucht: Strom I in Ampere

Lösung: $I = \frac{U}{R} = \frac{200\ V}{1600\ \Omega} = 0{,}125\ A$

Beispiel: Berechne die Katodenspannung für einen in der Katodenleitung liegenden Widerstand R = 90 Ω und für einen Katodenstrom von 70 mA!

Gegeben: Widerstand R = 90 Ω, Strom I = 70 mA = 0,07 A

Gesucht: Spannung U in Volt

Lösung: U = I · R = 0,07 · 90 = 6,3 Volt

Gleichstromquellen lassen sich in Serie oder parallel schalten. Bei der Serienschaltung können die Stromquellen verschiedene Spannung haben. Allerdings müssen wir auf richtige Polarität der Anschlüsse achten. Es sind jeweils Plus (+) und Minus (—) miteinander zu verbinden **(Bild 53)**. Die Gesamtspannung ergibt sich aus der Summe der Einzelspannungen. Schalten wir zwei Stromquellen parallel, so verbinden wir die Anschlüsse mit gleichen Vorzeichen **(Bild 54)**. Die

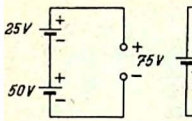


Bild 53. Serienschaltung von Gleichstromquellen

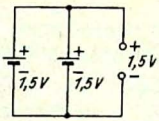


Bild 54. Parallelschaltung von Gleichstromquellen

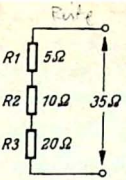


Bild 55. Serienschaltung von Widerständen

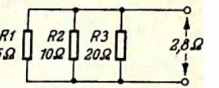


Bild 56. Parallelschaltung von Widerständen

Stromquellen müssen in diesem Falle gleiche Spannungswerte haben. Andernfalls schickt die Stromquelle höherer Spannung einen Strom durch die andere Stromquelle. Handelt es sich um Trockenbatterien, so wird dadurch die Stromquelle mit höherer Spannung verbraucht.

Serien- und Parallelschaltungen von Widerständen sind in der Praxis sehr häufig. Bei der Serienschaltung von Widerständen ist der Gesamtwiderstand gleich der Summe der Einzelwiderstände **(Bild 55)**:

$$R = R1 + R2 + R3 + \ldots\ldots$$

Der Gesamtwiderstand parallelgeschalteter Widerstände **(Bild 56)** errechnet sich aus

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \ldots.$$

Soll der Gesamtwiderstand von zwei parallelgeschalteten Widerständen verschiedener Größe ermittelt werden, so kann man auch nach folgender Formel rechnen:

$$R = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

Beispiel: Errechne den Gesamtwiderstand von drei parallelgeschalteten Widerständen 5 Ω, 10 Ω und 20 Ω!

Gegeben: $R1 = 5\,\Omega$, $R2 = 10\,\Omega$, $R3 = 20\,\Omega$

Gesucht: Gesamtwiderstand R

Lösung: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{20} = \frac{4}{20} + \frac{2}{20} + \frac{1}{20} = \frac{7}{20};\ R = 2{,}8\,\Omega$$

Beispiel: Wie groß ist der Gesamtwiderstand von zwei parallelgeschalteten Widerständen 100 Ω und 200 Ω?

Gegeben: $R1 = 100\ \Omega$, $R2 = 200\ \Omega$

Gesucht: Gesamtwiderstand R

Lösung: $$R = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} = \frac{100 \cdot 200}{100 + 200} = \frac{20\,000}{300} = 66{,}6\ \Omega$$

In der Elektro- und Radiotechnik kommen öfters Stromverzweigungen und Spannungsteilungen vor, die wir gleichfalls berechnen müssen. Für die Stromverzweigung gilt der erste Kirchhoffsche Satz. Demnach ist der in einem Stromkreis fließende Gesamtstrom (I) gleich der Summe aller Teilströme.

Außerdem ist zu beachten, daß sich die Teilströme der einzelnen Zweige umgekehrt zueinander verhalten wie ihre Widerstände. Hierfür gilt die Formel (vgl. auch **Bild 57**):

$$\frac{R1}{R2} = \frac{I2}{I1}$$

Dieser Kirchhoffsche Satz ist von Bedeutung, wenn z. B. Nebenwiderstände für Milliamperemeter berechnet werden sollen, wie das Beispiel zeigt **(Bild 58).**

Beispiel: Wie groß ist der Nebenwiderstand für ein Milliamperemeter mit einem Innenwiderstand $R_i = 5\ \Omega$ und einem Meßbereich von 0,5 mA, dessen Meßbereich auf 5 mA erweitert werden soll?

Gegeben: Innenwiderstand des Instrumentes $R_i = R1 = 5\ \Omega$, Strom durch das Instrument $I1 = 0{,}5$ mA, Gesamtstrom $I = 5$ mA durch Nebenwiderstand $R_N = R2$ und Instrumentenwiderstand R1

Gesucht: Nebenwiderstand $R_N = R2$

Lösung: $I2 = I - I1 = 5\ \text{mA} - 0{,}5\ \text{mA} = 4{,}5\ \text{mA}$

$$\frac{R1}{R2} = \frac{I2}{I1};\quad R2 = \frac{R1 \cdot I1}{I2};\quad R2 = \frac{5 \cdot 0{,}5}{4{,}5} = \frac{2{,}5}{4{,}5} = 0{,}556\ \Omega$$

Von Wichtigkeit für die Berechnung von Schaltungen ist ferner der zweite Kirchhoffsche Satz, der besagt, daß in einem

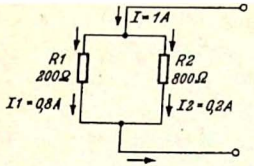


Bild 57. Stromverzweigung (Kirchhoffsches Gesetz)

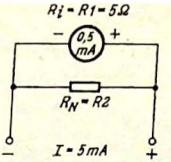


Bild 58. Milliamperemeter mit Nebenwiderstand

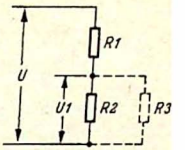


Bild 59. Spannungsteilerschaltung

Stromkreis die Summe aller Spannungsabfälle gleich der Gesamtspannung ist. Dieses Gesetz wird bei der Spannungsteilung angewandt.

In der Anordnung nach **Bild 59** bilden sich von der Gesamtspannung U an den Teilwiderständen R1 und R2 Teilspannungen aus, deren Größen sich wie die Ohmwerte der Widerstände verhalten. Es gilt die Formel

$$\frac{U1}{U} = \frac{R2}{R1 + R2},$$

aus der sich die interessierende Teilspannung

$$U1 = \frac{U \cdot R2}{R1 + R2}$$

errechnet.

Beispiel: An einem Spannungsteiler, der aus zwei Widerständen R1 = 1000 Ω und R2 = 200 Ω besteht, liegt eine Spannung von 250 Volt. Errechne die Spannung am Widerstand R2!

Gegeben: U = 250 Volt, R1 = 1000 Ω, R2 = 200 Ω

Gesucht: Spannung U1 an Widerstand R2

Lösung: $U1 = \frac{250 \cdot 200}{1000 + 200} = \frac{50000}{1200} = 41.7$ Volt

In der radiotechnischen Praxis kommt es häufiger vor, daß dem Spannungsteiler Strom entnommen wird. Da die angegebene Formel für den unbelasteten Spannungsteiler gilt, muß in diesem Fall der Widerstand R3 des zum Teilwiderstand R2 parallel liegenden Verbrauchers berücksichtigt wer-

den. Man errechnet zunächst den aus der Parallelschaltung von R2 und R3 resultierenden Gesamtwiderstand und setzt diesen Wert für R2 in obenstehende Formel ein.

3. Elektrische Leistung

Ein anderer Begriff, mit dem wir in der Radiotechnik häufig zu tun haben, ist die elektrische Leistung. Der durch einen Leiter fließende Strom erzeugt Wärme, führt also eine Leistung aus. Je höher Strom und Spannung sind, desto größer wird die elektrische Leistung. Als Einheit gilt das Watt[1]). Für kleinere Leistungen findet man häufig die Bezeichnung Milliwatt (mW), während für größere Leistungen das Kilowatt (kW) gebräuchlich ist.

Umrechnung der Leistungsbezeichnungen

kW	Watt	Watt	mW
1	1000	1	1000

Die Leistung errechnet sich aus dem Produkt von Strom und Spannung:

$$N = I \cdot U$$

N = Leistung (Watt)
I = Strom (Ampere)
U = Spannung (Volt)

Ersetzt man I oder U nach dem Ohmschen Gesetz, so ergeben sich folgende Formeln:

$$N = I^2 \cdot R \qquad N = \frac{U^2}{R}$$

N = Leistung (Watt)
I = Strom (Ampere)
R = Widerstand (Ohm)
U = Spannung (Volt)

Beispiel: Errechne die Leistung, die ein 500-Ω-Widerstand bei 110 Volt aufnimmt!

Gegeben: R = 500 Ω, U = 110 Volt

Gesucht: Leistung N (in Watt)

Lösung: $N = \frac{U^2}{R} = \frac{110^2}{500} = \frac{12100}{500} = 24{,}2$ Watt

1) Nach James Watt, britischer Ingenieur, 1736 bis 1819.

Zu den weiteren Grundbegriffen, die wir beherrschen müssen, gehören Gleichstrom und Wechselstrom. Was versteht man darunter? Bei Gleichstrom bewegen sich die Elektronen in einem Leiter stets in gleicher Richtung mit gleicher Stärke, während bei Wechselstrom die Elektronen längs der Leitung hin- und herpendeln und Stärke sowie Richtung ständig wechseln.

Bild 60 zeigt den Spannungsverlauf des Wechselstromes in Abhängigkeit von der Zeit. Dieser Verlauf ist sinusförmig und charakteristisch für den verzerrungsfreien Wechselstrom. Zwei entgegengesetzt gerichtete Halbwellen bilden eine Periode (Schwingung). Diese wird in 360° eingeteilt. Den Höchstwert einer Halbwelle bezeichnet man als Scheitel- oder Spitzenwert. Unter Effektivwert versteht man denjenigen Wechselspannungswert, der einer Gleichspannung entspricht, die z. B. in einem Widerstand die gleiche Stromwärme hervorruft wie die Wechselspannung.

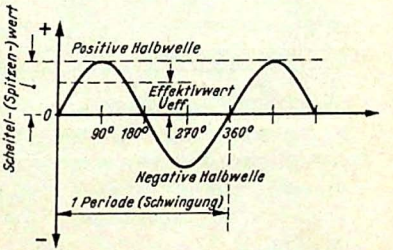


Bild 60. Spannungsverlauf des Wechselstromes in Abhängigkeit von der Zeit

Für den sinusförmigen Wechselstrom errechnet sich die Effektivspannung aus der Scheitelspannung:

$$U_{eff} = \frac{U_{sch}}{\sqrt{2}} = \frac{U_{sch}}{1{,}4}$$

U_{eff} = Effektivspannung
U_{sch} = Scheitelspannung

Die Scheitelspannung ergibt sich aus der Effektivspannung:

$$U_{sch} = U_{eff}\,\sqrt{2} = U_{eff}\,1{,}4$$

Beispiel: Errechne den Scheitelwert der Wechselstrom-Netzspannung von 125 Volt!

Gegeben: $U_{eff} = 125$ Volt, gesucht: U_{sch} (Volt)

Lösung: $U_{sch} = 125 \cdot 1{,}4 = 175$ Volt

Bekanntlich hat unser Wechselstromnetz 50 Perioden in der Sekunde. Man bezeichnet die Zahl der Perioden in der Se-

kunde mit der Frequenz f. Die Frequenz wird in Hertz[1]) angegeben. Der Tonfrequenzbereich reicht bis 20 000 Hz. Für Rundfunksender sind Frequenzen von über 100 kHz bis 100 MHz gebräuchlich.

Umrechnung der Frequenzbezeichnungen

MHz	kHz	Hz	kHz	Hz
1	1000	1 000 000	1	1000

4. Kapazitäten und Kondensatoren

Im Prinzip besteht ein Kondensator aus zwei voneinander isolierten Metallplatten oder -folien, den sogenannten „Belegungen". Die dazwischen befindliche Isolierschicht, das „Dielektrikum", ist Glimmer, Kunststoff, Luft, Papier oder Porzellan.

Sobald wir eine Gleichspannung an den Kondensator legen, bildet sich zwischen den Belegungen ein elektrisches Feld aus **(Bild 61)**. Der Kondensator lädt sich auf. Die Elektronen werden von der einen Platte abgesaugt und wandern zur anderen. Es entsteht ein Ladestromstoß. Beim Anschluß eines Widerstandes an den aufgeladenen Kondensator geht die Ladung rasch auf Null zurück. Die aufgespeicherte Ladung läßt sich leicht nachweisen, wenn man den Kondensator mit Hilfe eines Metallbügels überbrückt. Zwischen den beiden Anschlüssen des Kondensators springt dann ein Funke über.

Schalten wir den Kondensator an eine Wechselspannung, so ändert sich die Ladung im Wechsel der Frequenz und es fließt trotz der Isolation zwischen den Belegungen ein Wechselstrom.

Das Fassungsvermögen eines Kondensators oder dessen Kapazität hängt von der Größe der Belegungen, von deren Abstand und von dem zwischen ihnen befindlichen Isolierstoff ab. Als Einheit für die Kapazität gilt das Farad[2]). Für die in der Radiotechnik gebräuchlichen Kapazitätswerte bevorzugt man jedoch kleinere Einheiten: Mikrofarad (µF), Nanofarad (nF) und Pikofarad (pF).

1) Nach Heinrich Hertz, deutscher Physiker, 1857 bis 1894.
2) Nach Michael Faraday, englischer Physiker, 1791 bis 1867.

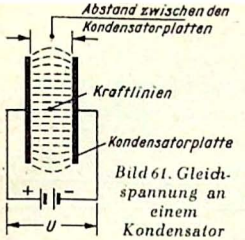


Bild 61. Gleichspannung an einem Kondensator

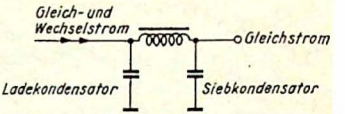


Bild 62. Kondensatoren in einer Netzteil-Siebkette

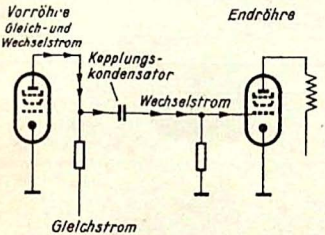


Bild 63. Kopplungskondensator zwischen zwei Nf-Stufen

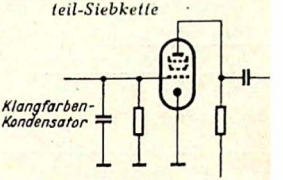


Bild 64. Klangfarbenkondensator im Gitterkreis des Nf-Verstärkers

Bild 65. Kondensator in einem Schwingkreis

Umrechnung der Kapazitätswerte

F	µF	µF	nF	pF
1	1 000 000	1	1000	1 000 000

In der Radiotechnik werden Kondensatoren für die verschiedensten Zwecke verwendet. Im Netzteil von Empfängern, Verstärkern und Meßgeräten kommt es darauf an, einen Anodengleichstrom mit möglichst geringem Wechselstromanteil zu erzeugen. Mit Hilfe der Lade- und Siebkondensatoren kann dieser Anteil unschädlich gemacht werden **(Bild 62)**. Bei Nf-Verstärkern sind Kopplungsglieder üblich, die der Vorröhre den Anodengleichstrom zuführen und der nachfolgenden Endröhre die zu verstärkende Wechselspannung (Tonfrequenzspannung), wie **Bild 63** zeigt. Der Kondensator kann aber andererseits zur Verdunkelung der Klangfarbe dienen **(Bild 64)**. Eine der wichtigsten Funktionen ist die Frequenzauswahl, die der Kondensator im Zusammen-

wirken mit einer Spule in Form eines Schwingkreises gestattet **(Bild 65)**. Kondensatoren sind ferner für die Rundfunkentstörung üblich und haben z. B. auf der Primärseite des Netztransformators die Aufgabe, hochfrequente Netzstörungen zur Erde abzuleiten **(Bild 66)**.

Wie wir festgestellt haben, läßt der Kondensator Wechselstrom hindurch. Allerdings stellt er für den Wechselstrom einen Widerstand dar. Der sogenannte kapazitive Widerstand hängt von der Kapazität des Kondensators und von der Frequenz der Wechselspannung ab. Mit größer werdender Kapazität nimmt der Wechselstromwiderstand ab, desgleichen auch mit zunehmender Frequenz. Der kapazitive Widerstand ist z. B. für eine Frequenz von 50 Hz bei 100 pF genau 32 MΩ und sinkt bei 1 µF auf 3,2 kΩ ab. Für eine Frequenz von 500 kHz ist der kapazitive Widerstand eines Kondensators von 100 pF noch 3,2 kΩ, während er für einen 1-µF-Kondensator nur 0,32 Ω erreicht. Der kapazitive Widerstand berechnet sich aus

$$R_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \ (\Omega)$$

$R_c = \Omega\ (M\Omega)$ $\pi = 3{,}14$
$C = F\ (\mu F)$
$f = Hz$

In der Praxis kommen oft Parallel- und Serienschaltungen von Kondensatoren vor. Schaltet man Kondensatoren parallel, dann wird die Fläche der Belegungen vergrößert. Die Kapazitätswerte können addiert werden. Die Gesamtkapazität C_{ges} wird also größer. Für die Parallelschaltung von Kondensatoren gilt **(Bild 67a)**: $C_{ges} = C1 + C2 + C3 + \ldots$.
Schalten wir die Kondensatoren in Serie **(Bild 67b)**, ergibt sich eine kleinere Gesamtkapazität als die des kleinsten der Einzelkondensatoren. Die Gesamtkapazität errechnet sich bei zwei Kondensatoren verschiedener Größe aus:

$$C_{ges} = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2}$$

und bei mehreren Kondensatoren aus:

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + \ldots$$

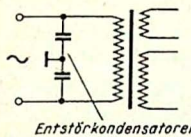


Bild 66. Störschutzkondensatoren im Netzteileingang

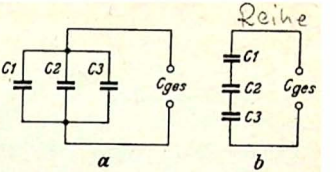


Bild 67a. Parallelschaltung von Kondensatoren
Bild 67b. Serienschaltung von Kondensatoren (Reihe)

Veränderliche Kondensatoren werden, je nach dem Wellenbereich, für den sie bestimmt sind, in den verschiedensten Ausführungen hergestellt. Die für die Abstimmung des Rundfunkempfängers vorgesehenen Drehkondensatoren erscheinen in Einfach-, Zweifach- und Dreifach-Ausführung. Zwischen den Platten dieser Kondensatoren ist Luftisolation vorhanden. Die Stator-Plattenpakete sind häufig keramisch isoliert. Spezial-Drehkondensatoren für UKW und KW verwenden Wannen aus stabiler Stahlblech-Schweißkonstruktion. Rotor- und Statorpakete sind auf keramischen Achsen montiert. Abstimm-Drehkondensatoren mit Luftisolation haben geschlitzte Endplatten, um einen Feinabgleich der Kapazitäten für die verschiedenen Rotorstellungen zu gestatten.

Für die Rückkopplungsregelung, als Klangregler und als Abstimmkondensator für Miniaturempfänger sind sogenannte Hartpapier-Drehkondensatoren üblich. Die gegenseitige Plattenisolation besteht hier aus Hartpapier oder Trolitul oder aus einem ähnlichen festen Isolierstoff. Nachteile dieser Abstimmkondensatoren sind höhere Verluste sowie wenig konstante Kapazitätswerte.

Eine andere Bauform des veränderlichen Kondensators ist der Trimmer. Er dient hauptsächlich für den Abgleich von Hf-Kreisen in Oszillatoren und Mehrkreisempfängern und wird je nach dem verwendeten Dielektrikum in verschiedenen Bauarten hergestellt. Der Aufbau des Lufttrimmers, der sich infolge des Luftdielektrikums durch geringe Hf-Verluste auszeichnet, erinnert an die Bauweise des Drehkondensators. Der Kapazitätsbereich ist bei der bekanntesten Ausführung

(Philips) 3...30 pF. Keramische Trimmerkondensatoren verwenden als Träger der Belegungen keramische Spezialmassen mit verschieden hohen Dielektrizitätskonstanten und Temperaturkoeffizienten. Der seit vielen Jahren bewährte keramische Scheibentrimmer (2...60 pF) ist durch den Kapseltrimmer (2...30 pF) und in letzter Zeit durch Schraubtrimmer (0,5...15 pF) ergänzt worden. Die z. Z. modernste Ausführung, der Keramikrohr-Trimmer, besteht aus einem Keramikrohr in einem Messingmantel (Stator). In einem Messinggehäuse wird der schraubenförmige, mit einem geschlitzten Kopf ausgerüstete Messingrotor geführt. Den Vorzug des keramischen Dielektrikums hat auch der Drahttrimmer. Er besitzt kleine Abmessungen und läßt sich leicht in Hf-Aggregate einbauen. Der Außenbelag wird jedoch nicht durch eine fest eingebrannte Silberschicht, sondern durch eine abziehbare Drahtwicklung gebildet.

Eine große Rolle im Gerätebau spielen die festen Kondensatoren, deren Kapazitätswerte wir nicht ändern können. Verlustarme Kondensatoren kleiner Kapazitäten kommen vorwiegend für Hf-Schwingkreise in Betracht. Gebräuchlich sind Glimmerkondensatoren und keramische Kondensatoren, von denen die letzten allgemein bevorzugt werden, da sie auch hohen Anforderungen hinsichtlich des Temperaturganges entsprechen. Neuerdings werden keramische Baustoffe verwendet, deren Dielektrizitätskonstanten bis zu 1000 mal so hoch wie Glimmer sind. Diese keramischen Kondensatoren eignen sich wegen ihrer außerordentlich geringen Induktivität und wegen der hohen Beständigkeit gegenüber Wärme und Feuchtigkeit vor allem als Hf-Entkopplungskondensatoren. Gebräuchliche Bauformen der heute üblichen keramischen Festkondensatoren sind: Röhrchen-, Halm-, Scheiben- und Würfelkondensatoren.

In der Hf-Technik werden ferner Kunstfolienkondensatoren bevorzugt, bei denen Kunstfolie als Dielektrikum und Metallfolie als Belegungen dienen. Diese Kondensatorenart hat niedrige Verluste, hohen Isolationswiderstand, gute zeitliche Konstanz und einen reproduzierbaren Temperaturkoeffizienten. Sehr gebräuchlich sind Styroflex-Kondensatoren.

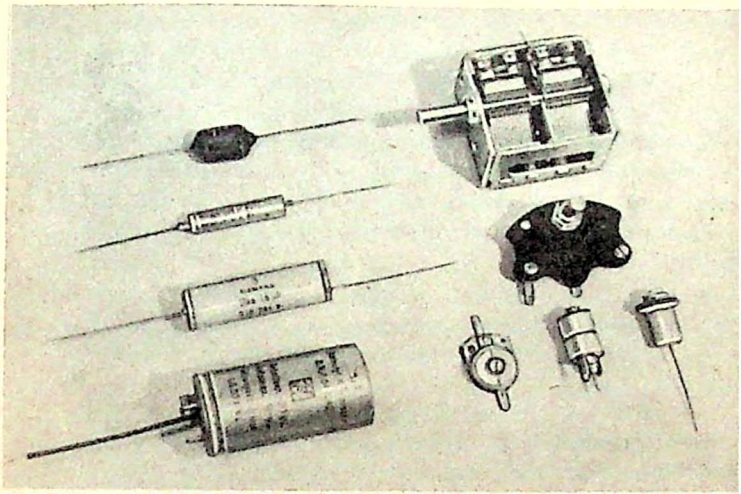


Bild 68. Verschiedene Kondensatoren. Linke Reihe: Festkondensatoren (Lacküberzogener Festkondensator, Niedervolt-Elektrolyt-Kondensator, Hochvolt-Elektrolyt-Kondensator im Kleinformat, Elektrolyt-Kondensator für Zentralbefestigung); rechte Reihe: Veränderliche Kondensatoren (Zweifach-Drehkondensator, Rückkopplungs-Drehkondensator in Hartpapierausführung, verschiedene Trimmer)

Zur Gruppe der festen Kondensatoren zählen ferner die Papierkondensatoren. Die Metallbelegungen sind Metallfolien, während als Dielektrikum imprägnierte Papiere verwendet werden. Papierkondensatoren kommen in Kapazitätswerten von einigen pF bis zu einigen µF auf den Markt. Roll- oder Rohrkondensatoren werden z. B. in Größen von etwa 50 pF bis 0,5 µF geliefert. Einige Firmen stellen feuchtigkeitssichere Rohrkondensatoren her (z. B. Tropydur-Kondensatoren). Becherkondensatoren (Kapazitätswerte etwa 0,1 µF bis 8 µF) kommen hauptsächlich wegen ihrer ungünstigen Abmessungen und der für den Radiogerätebau unzweckmäßigen Befestigungsart kaum noch in Betracht.

Große Bedeutung haben Elektrolytkondensatoren erlangt. Sie besitzen bei kleinen Abmessungen hohe Kapazitätswerte. Die eine Elektrode ist keine Metallfolie, sondern wird durch eine Flüssigkeit, den Elektrolyten gebildet. Als Gegenelektrode dient eine Aluminiumfolie, auf die durch elektrolytische

Vorgänge eine Aluminiumoxydschicht aufgebracht ist, die infolge ihrer Ventilwirkung als Dielektrikum dient. Die Abmessungen der Elektrolytkondensatoren konnten in den letzten Jahren wesentlich verringert werden. Im Rundfunkgerätebau werden die Bauformen in zylindrischem Aluminiumgehäuse für Zentralbefestigung im Netzteil allgemein bevorzugt. Für die Anodenspannungssiebung und als Katodenkondensatoren haben die kleinen freitragenden Ausführungen große Vorzüge.

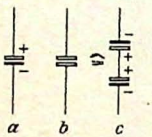


Bild 69. Elektrolytkondensatoren in gepolter (a), ungepolter (b) und in gegeneinander geschalteter Ausführung (c)

Besonders hohen Anforderungen hinsichtlich Betriebssicherheit entspricht der Metallpapier-Kondensator (MP-Kondensator). Er wird vorwiegend im Netzteil und zur Anodenspannungssiebung verwendet. Bei den MP-Kondensatoren ist ein außerordentlich dünner Metallbelag festhaftend auf dem Papier als Träger des Dielektrikums angebracht. Daraus ergeben sich kleine Abmessungen, geringes Gewicht und die Regenerierfähigkeit des Kondensators.

Wählt man Kondensatoren aus, so muß man auf den maximal zulässigen Spannungswert achten. Man darf den Kondensator an keiner höheren als der maximal zulässigen Spannung betreiben, da er sonst beschädigt wird oder durchschlägt. Bei Papierkondensatoren findet man häufig zwei Angaben: Unter **Betriebsspannung** versteht man die maximale Gleichspannung, die dauernd am Kondensator liegen darf. Bei überlagerter Wechselspannung gilt der während des Betriebes auftretende Scheitelwert der Wellenspannung als maximale Betriebsspannung. Bei Betrieb mit Wechselspannung gilt der Effektivwert einer praktisch sinusförmigen Wechselspannung von 50 Hz. Die **Prüfspannung** ist das Dreifache der Betriebsspannung. In der Praxis prüft man Wechselspannungskondensatoren allgemein mit Gleichspannung, um Vorbeschädigungen des Kondensators zu vermeiden. Die Prüfspannung ist dann 4,5 mal so groß wie die Betriebswechselspannung.

Wegen der Regenerierfähigkeit des MP-Kondensators entspricht die Prüfspannung nur dem 1,5fachen Wert der Nennspannung. Bei Elektrolytkondensatoren sind Spitzenspannungen von etwa 10 % über den Nennspannungswert zulässig, die allerdings nicht länger als eine Minute wirksam sein dürfen.

5. Induktivitäten und Spulen

Als Spule bezeichnet man eine oder mehrere, in gleicher Richtung gewickelte Windungen. Die Wicklung selbst unterscheidet sich nach Wicklungsart und Windungszahl. UKW-Spulen haben nur wenige Windungen, MW-Spulen etwa 40 bis 60 und Nf-Spulen einige tausend Windungen. In der Praxis wickelt man die Windungen freitragend (UKW), als einlagige Zylinderspulen (KW) sowie als Kreuzwickel- oder als Scheibenspulen (MW, LW) je nach Frequenzbereich und Wickelkörper.

Beim Anschluß einer Spule an eine Gleichspannung bildet sich nach kurzer Zeit ein Magnetfeld aus **(Bild 70)**. Umgekehrt bricht das Magnetfeld beim Ausschalten wieder zusammen. Es entsteht dabei ein Funken, in dem die im Magnetfeld erhaltene Arbeit wieder frei wird. Das Magnetfeld ist abgesehen vom Einschalt- und Ausschalt-Moment für den Gleichstrom ohne Wirkung.

Bild 70. Magnetfeld einer an Gleichspannung angeschlossenen Spule

Fließt dagegen Wechselstrom durch eine Spule, so wird das magnetische Feld bei jedem Richtungswechsel abgebaut und umgepolt wieder aufgebaut. Bei einer Wechselspannung mit niedriger Frequenz genügt eine verhältnismäßig geringe Spannung, um ein kräftiges Magnetfeld zu erzeugen. Je höher die Frequenz ist, desto größer muß der zum Aufbau des Magnetfeldes erforderliche Energieaufwand sein.

Aus den Ausführungen geht hervor, daß bei einem durch eine Spule fließenden Gleichstrom nur der unveränderliche ohmsche Widerstand maßgebend ist. Im Wechselstromkreis

stellt jedoch die Spule einen abhängigen Widerstand dar. Der jeweilige Induktivitätswert einer Spule und die Frequenz des durchfließenden Wechselstromes bestimmen die Größe des Widerstandes, den eine Spule dem Wechselstrom entgegensetzt. Dieser „induktive Widerstand" ist größer, je höher Frequenz und Induktivität sind.

Als wichtigste Eigenschaft der Spule gilt die Induktivität (Selbstinduktion). Sie nimmt mit der Windungszahl und dem kleiner werdenden Windungsabstand zu. Die Maßeinheit für die Induktivität ist das Henry[1]) (H). Für die kleinen Induktivitätswerte der Radiotechnik benutzt man das Millihenry (mH) oder Mikrohenry (µH).

Umrechnung der Induktivitätswerte

H	mH	mH	µH
1	1000	1	1000

Die Induktivität einer Spule hängt von der Windungszahl, von den Abmessungen und von dem verwendeten Kernmaterial ab. Bei gewöhnlichen Zylinderspulen ist zu beachten, daß die Induktivität mit zunehmender Wicklungslänge abnimmt, da sich der Strom auf eine größere Länge auszuwirken hat.

Ähnlich wie Kondensatoren können Spulen in Serie oder parallel geschaltet werden. Sofern sich bei der Serienschaltung die magnetischen Felder der Spulen nicht beeinträchtigen, addieren sich die Induktivitätswerte **(Bild 71a)**:

$$L_{ges} = L1 + L2 + \ldots L_n$$

Die Induktivität zweier parallel geschalteter Spulen ergibt sich aus folgender Formel, wenn sich die magnetischen Felder gegenseitig nicht beeinflussen **(Bild 71b)**:

$$L_{ges} = \frac{L1 \cdot L2}{L1 + L2}$$

Je nach Lage der Spulen können sich die magnetischen Felder teilweise aufheben oder unterstützen. Dementsprechend sind die Induktivitätswerte kleiner oder größer.

[1]) Nach Josef Henry, amerikanischer Naturforscher, 1797 bis 1878.

Für die Spulenpraxis interessiert ferner die Berechnung des induktiven Widerstandes R_L.

$$R_L = \omega L = 2\,\pi\,fL = 6{,}28 \cdot f \cdot L$$

$R_L = \Omega$
$f = Hz$
$L = H$

Die Eigenschaften der Spule, Gleichstrom nahezu ungehindert hindurchzulassen und dem Wechselstrom einen hohen Widerstand entgegenzusetzen, gestatten vielseitige Anwen-

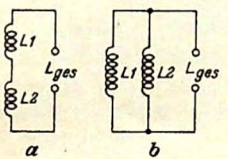


Bild 71a, Serienschaltung von Induktivitäten
Bild 71b, Parallelschaltung von Induktivitäten

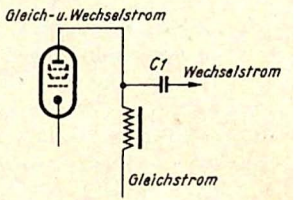


Bild 72. Spule als Kopplungselement in einer Verstärkerstufe

dungsmöglichkeiten im Rundfunkempfänger- und Verstärkerbau. In Schaltung **Bild 72** läßt die Spule den Anodenstrom nahezu ungehindert hindurch. Der Wechselstrom kann jedoch über die Spule nicht abfließen, sondern gelangt über den Kopplungskondensator zur nächsten Stufe oder zum Kopfhörer. In **Bild 73** dient die Spule zur Stromglättung. Am Ausgang der Siebkette steht reiner Gleichstrom zur Verfügung. In **Bild 74** hat die Spule die Aufgabe der Frequenzauswahl im Zusammenwirken mit dem parallel geschalteten Drehkondensator. Spulen findet man u. a. ferner in Filtern aller Art, Saugkreisen, Sperrkreisen, Tonselektionskreisen, in Gegenkopplungsanordnungen usw.

Die meisten Spulen benutzen Eisenkerne, mit denen es möglich ist, bei gleich großem Strom stärkere Magnetfelder zu erzielen. Mit Eisenkernen erhält man größere Induktivitätswerte. Bei Nf-Spulen ist die Wicklung auf einem Isolierstoffkörper untergebracht, der bei einem Eisenblechpaket nach dem EI-Schnitt auf den mittleren Steg aufgeschoben wird. Der Weg für die Kraftlinien des Magnetfeldes muß durch

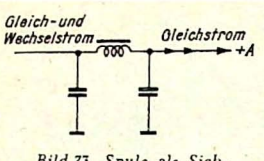


Bild 73. Spule als Siebdrossel in einer Anodenspannungs-Siebkette

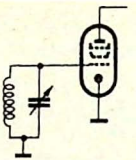
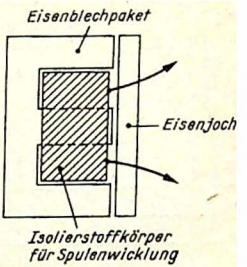


Bild 74. Spule in einem Schwingkreis



Rechts: Bild 75. NF-Spule mit Eisenkern (EI-Schnitt)

ein Eisenjoch geschlossen werden (**Bild 75**). Charakteristisch für Nf-Spulen sind die meist völlig geschlossenen Eisenkerne, deren magnetische Wirkung von der jeweiligen Eisensorte, von der Höhe der Wechselspannung und von der Gleichstrom-Vormagnetisierung abhängt. Wird die Spulenwicklung gleichzeitig vom Gleichstrom durchflossen, so geht die Induktivität beträchtlich zurück.

Zu den wichtigsten Bauelementen der Empfängertechnik gehören Hochfrequenzspulen. Sie sollen verlustarm und leicht abgleichbar sein, dann aber auch kleine Abmessungen aufweisen. Die früher üblichen Zylinderspulen können diesen Anforderungen nicht entsprechen. Man verwendet daher heute nur noch Spulen mit Hf-Eisenkernen. Diese bestehen aus einem Gemisch von feinem Eisenpulver, Isolationsmitteln und härteren Kunstharzen als Binder. Sämtliche Hf-Eisenkerne erfahren eine längere Wärmebehandlung bei einer bestimmten Temperatur (z. B. 150 bis 1300° C). Als magnetische Werkstoffe für Hf-Spulen haben sich Ferrite allgemein eingeführt. Es handelt sich um Mischkristalle oder Verbindungen von Eisenoxyd und einem oder mehreren Oxyden zweiwertiger Metalle (z. B. Mangan, Nickel, Zink, Kupfer, Kobalt usw.). Ferrite sind in letzter Zeit auch in Form langer Zylinderkerne als Antennenstäbe bekannt geworden.

Gewindekerne oder Schraubkerne bilden die im heutigen Empfängerbau am meisten verwendete Kernform. Ihre Hauptvorteile sind bequeme Abgleichbarkeit und großer Abgleichbereich. Zum Wickeln der Spulen stehen Kreuzwickelkörper und die für den Selbstbau praktischen Kammerspulen-

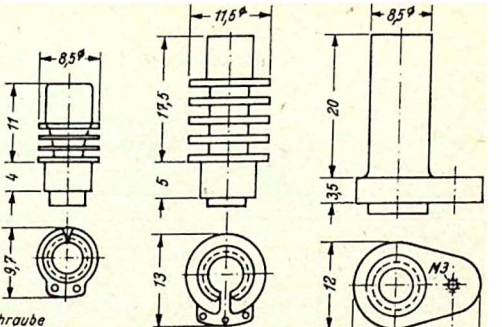


Bild 76. Gebräuchliche Ausführungsformen von Spulenkörpern für Hf-Eisenkerne (Links: Spulenkörper mit drei Kammern; Mitte: Spulenkörper mit vier Kammern; rechts: glatter Spulenkörper)

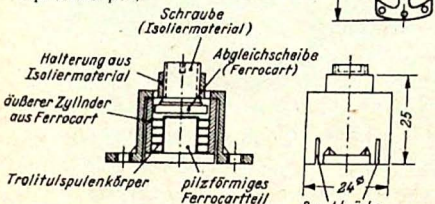
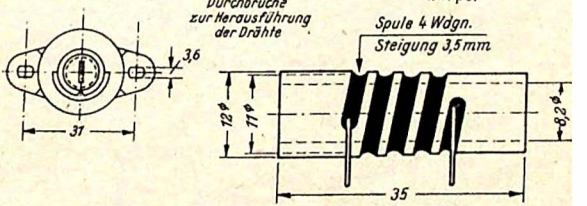


Bild 77. Abmessungen und Querschnitt durch eine handelsübliche Spuleneinheit, bestehend aus Topfkern und Trolitutspulenkörper



körper zur Verfügung (**Bild 76**). Seit längerer Zeit sind die für das Selbstwickeln von Spulen gleichfalls geeigneten Topfkerne auf dem Markt (z. B. T 21/18 HF und ZF von Vogt & Co.). Sie benutzen einen allseitig geschlossenen Eisenweg. Die Wicklung ist völlig vom Kernmaterial umschlossen. Gegenüber offenen Kernen kommt man daher mit niedrigeren Windungszahlen aus; ferner ist das Streufeld geringer. Die Induktivitätsänderung von Spulen mit Hilfe des Hf-

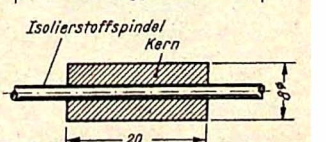


Bild 78. UKW-Variometer (Oben: Spulenkörper mit Wicklung; unten: Hf-Eisenkern auf Isolierstoffspind.)

Eisenkernes wird nicht nur für den Abgleich ausgenutzt, sondern auch für die Abstimmung selbst. So konnten sich für die UKW-Abstimmung Spulenvariometer durchsetzen. Bei diesen geschieht die Frequenz-Variation durch Verschieben des Hf-Eisenkernes. Auf den sonst üblichen Drehkondensator kann daher verzichtet werden. Da die bisher gebräuchlichen Kernwerkstoffe wegen zu hoher Eisenverluste nicht verwendbar waren, wurden neue Werkstoffe für die induktive Abstimmung der Eingangs- und Oszillatorkreise im UKW-Band entwickelt. Die Spezialkerne weisen eine Mittelbohrung auf. Sie können dann auf eine Isolierstoffspindel aufgenommen werden, die innerhalb des Spulenrohres bewegt wird **(Bild 78)**.

Auf das Wickeln von Hf-Spulen kommen wir später noch ausführlich zurück. Es soll an dieser Stelle nur erwähnt werden, daß man für UKW- und KW-Spulen Volldraht verwendet (z. B. Kupferdraht 0,5 bis 1 mm ⌀), während für die Schwingkreisspulen im MW- und LW-Bereich Hf-Litze üblich ist. Für MW benutzt man z. B. Hf-Litze 25×0,07. Diese Litze besteht aus 25 Einzeldrähten von 0,07 mm Durchmesser. Aus Raumgründen muß man sich bei LW-Spulen mit Hf-Litze 5×0,07 begnügen. Da man in den Kammern nicht immer ausreichend Platz hat, wickelt man die bezüglich Hf-Verluste weniger kritischen Ankopplungswindungen häufig aus Volldraht (z. B. 0,1 mm ⌀ CuL[1]).

Bild 79 zeigt verschiedene Spulen, wie sie heute in der Radiotechnik gebräuchlich sind.

6. Magnetische Kopplung und Transformatoren

Der Wechselstrom, den wir durch eine Spule schicken, ruft eine dem periodischen Richtungswechsel entsprechende Magnetisierung hervor. Das wechselnde Magnetfeld erzeugt in einem benachbarten Leiter eine Wechselspannung entgegengesetzter Richtung. Die auf diese Weise (durch Induktion) übertragene Energie ist um so größer, je mehr Kraftlinien des wechselnden Magnetfeldes zum zweiten Leiter gelangen **(Bild 80)**.

1) Kupferdraht mit Lackisolation.

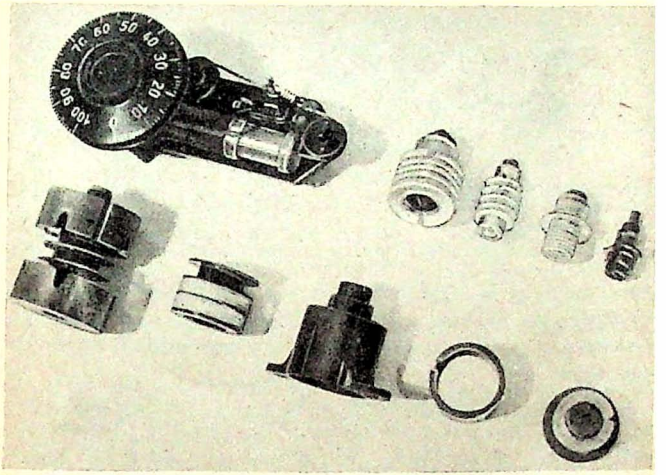


Bild 79. Verschiedene Hf-Spulen. Obere Reihe: UKW-Variometer, vier verschieden große Spulenkörper mit Hf-Eisenkernen sowie mit und ohne Spulenkammern; untere Reihe: Schalenkern, geöffnet, mit Spulenkörper; einzelner Spulenkörper, teilweise bewickelt; Topfgehäuse mit Spulenkernen und aufgesetztem Spulenkörper

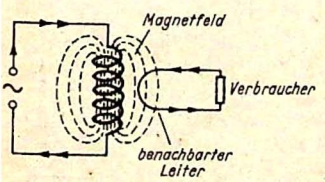


Bild 80. Prinzip der magnetischen Kopplung

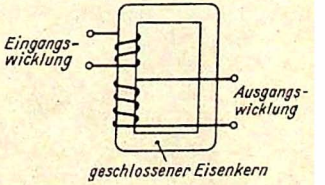


Bild 81. Grundsätzlicher Aufbau eines Transformators

Ferner wird die Energieübertragung um so wirksamer, je fester man die Kopplung zwischen Spule und benachbartem Leiter wählt. Wickelt man die Windungen zweier Leiter auf einen gemeinsamen Eisenkern, haben wir den bekannten Transformator (Übertrager) vor uns **(Bild 81).** Die feste Kopplung der Wicklungen ermöglicht außerdem noch eine Spannungswandlung, die den Windungszahlen der beiden Wicklungen entspricht und beliebig hohe Wechselspannungen

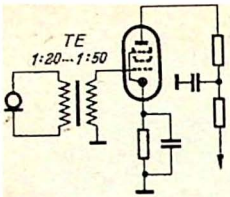


Bild 82. Eingangs-Transformator in einer Mikrofon-Vorverstärkerstufe

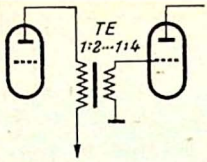


Bild 83. Transformatorgekoppelter Nf-Verstärker

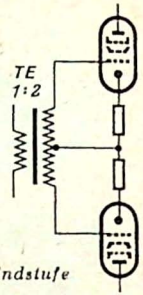


Bild 84. Eingangstransformator in einer Gegentakt-Endstufe

herzustellen gestattet. Ein Transformator mit einer Ausgangswicklung, die fünfmal so viel Windungen hat wie die Eingangswicklung, liefert ausgangsseitig eine fünfmal so hohe Spannung.

In der Nf-Technik benötigt man heute vorwiegend Eingangs- und Ausgangstransformatoren. Für die Anpassung hochwertiger dynamischer Mikrofone mit geringer Spannungsabgabe an den Verstärkereingang sind z. B. Eingangstransformatoren mit hohem Übersetzungsverhältnis (1 : 30 bis 1:50) nötig (**Bild 82**). Die früher übliche Transformatorkopplung im Nf-Teil des Rundfunkempfängers (**Bild 83**) wird heute nur noch selten angewandt. Der Zwischenübertrager TE hat auch hier die Aufgabe, die Wechselspannung hochzutransformieren, um eine höhere Verstärkung zu gewährleisten. Allerdings kann man nur kleine Übersetzungsverhältnisse (z. B. 1 : 2 bis 1 : 4) anwenden, denn bei höheren Übersetzungsverhältnissen wird die Wiedergabe der höchsten und der tiefsten Frequenzen benachteiligt.

Für Gegentakteingangsschaltungen verwendete man lange Zeit Eingangstransformatoren mit Mittelanzapfung auf der Sekundärseite, während man heute sogenannte Phasenumkehrschaltungen vorsieht. Auch Gegentakt-Zwischenübertrager entsprechen nur in hochwertigen Spezialausführungen und mit niedrigen Übersetzungsverhältnissen hinsichtlich Frequenzgang den modernen Anforderungen (**Bild 84**).

Zu den Transformatoren, auf die der moderne Empfänger nicht verzichten kann, gehört der Ausgangsübertrager. Dieser paßt den niedrigen Tauchspulenwiderstand des dynamischen

Lautsprechers an den hohen Außenwiderstand der Endröhre an. Der Ausgangstransformator gibt nicht nur Spannung, sondern auch Leistung ab **(Bild 85)**.

Der Netztransformator liefert die zum Betrieb der Röhren benötigten Heiz- und Anodenspannungen. Die Primärwick-

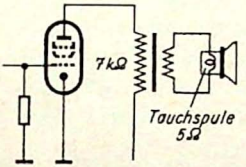


Bild 85. Ausgangstransformator im Anodenkreis der Endstufe

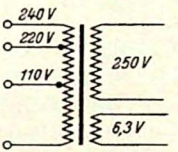


Bild 86. Grundsätzliche Schaltung eines Netztransformators

lung ist auf gebräuchliche Netzspannungswerte umschaltbar und mit entsprechenden Anzapfungen ausgestattet. Zur Anodenspannungsgleichrichtung werden heute Selengleichrichter in Brückenschaltung bevorzugt angewandt. Es genügt daher eine Anodenspannungswicklung (z. B. 250 V). Der moderne Netztransformator für Rundfunkempfänger kommt ferner häufig mit einer einzigen Heizwicklung für die Empfängerröhren aus (z. B. 6,3 V), da auf die sonst bei Gleichrichterröhren übliche Gleichrichter-Heizwicklung verzichtet werden kann. Der Netztransformator muß für die maximale Leistung bemessen sein, die er abzugeben hat **(Bild 86)**.

In den zuletzt erwähnten Sonderfällen und auch bei sogenannten Autotransformatoren, die keine Sekundärwicklung für die Erzeugung der Anodenspannung haben, muß man auf die VDE-Bestimmungen achten. Die mit solchen Netztransformatoren gebauten Geräte sind hinsichtlich des Berührungsschutzes wie Allstromempfänger zu behandeln. Es müssen daher in die Antennen- und Erdleitung Sperrkondensatoren ausreichend hoher Prüfspannung (1500 V-) gelegt werden (z. B. je 5 nF).

Sämtliche beschriebenen Transformatoren kann man selbst herstellen. Die Berechnung der Wickeldaten erfordert gewisse Erfahrung. Auch das richtige Wickeln will gelernt sein. Es ist daher zweckmäßiger, um an Zeit und an Geld zu sparen, handelsübliche Transformatoren zu benutzen, die von vielen Herstellern angeboten werden.

VIII. Unentbehrliches funktechnisches Grundwissen

Die in Kapitel VII beschriebenen Grundlagen gehören, genau betrachtet, in das Gebiet der allgemeinen Elektrotechnik. Wir wollen uns nun in den folgenden Ausführungen mit wichtigen funktechnischen Fragen befassen, deren Kenntnis zum Verstehen der Zusammenhänge beim Aufbau von Empfängern unbedingt erforderlich ist. Dieser Überblick ist zunächst allgemein orientierend. Auf Einzelfragen gehen wir später bei der Besprechung verschiedener Schaltungen und Geräte ausführlicher ein.

1. Der elektrische Schwingungskreis

Schalten wir Kondensator C1 parallel zur Spule L1, so haben wir einen elektrischen Schwingungskreis vor uns (**Bild 87**). Zum Verständnis der Wirkungsweise stellen wir uns vor, daß Kondensator C1 z. B. durch einen äußeren Spannungsstoß aufgeladen wird. Die aufgespeicherte Energie fließt dann nach kurzer Zeit über L1 ab. Der Strom erzeugt in der Spule ein Magnetfeld. Nimmt der Strom ab, so wird

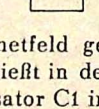


Bild 87. Elektrischer Schwingungskreis

die im Magnetfeld gespeicherte Arbeit wieder abgegeben. Der Strom fließt in der ursprünglichen Richtung weiter und lädt Kondensator C1 im entgegengesetzten Sinne wieder auf. Der Aufladungsvorgang ist beendet, sobald sich das Magnetfeld völlig abgebaut hat. Kondensator C1 wird dann wieder entladen. Es spielen sich die beschriebenen Vorgänge von neuem ab.

Wir haben es also mit einer elektrischen Pendelbewegung zu tun. Das Tempo des Hin- und Herpendelns der Energie im Schwingungskreis wird durch die Eigenfrequenz bestimmt. Macht man L1 und C1 größer, nimmt die Frequenz ab. Wenn der Schwingungskreis Resonanz hat, also Eigenfrequenz des Kreises und Antriebsfrequenz der Wechselspannungsquelle

übereinstimmen, bilden sich besonders starke Schwingungen aus. Die Resonanzfrequenz errechnet sich aus Kapazität und Induktivität[1]):

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \text{ oder}$$

f = Resonanzfrequenz (Hz)
C = Kapazität (F)
L = Induktivität (H)

$$f = \frac{5030}{\sqrt{L \cdot C}}$$

f = Resonanzfrequenz (kHz)
C = Kapazität (pF)
L = Induktivität (mH)

Beispiel: Berechne die Resonanzfrequenz eines aus einem 400-pF-Kondensator und einer Spule von 1 mH bestehenden Schwingungskreises!

Gegeben: Kapazität C = 400 pF, Induktivität L = 1 mH

Gesucht: Resonanzfrequenz f

Lösung: $f = \frac{5030}{\sqrt{1 \cdot 400}} = \frac{5030}{\sqrt{400}} = \frac{5030}{20} = 252\ \text{kHz}$

2. Resonanzwiderstand bei Parallel- und Serienresonanz

Im Resonanzfalle hat der Schwingungskreis entweder einen sehr hohen oder einen niedrigen Resonanzwiderstand, je nach Art der Schwingkreisschaltung.

Man unterscheidet zwischen Parallel- und Serienresonanz. Beispiele für Parallelresonanz sind die in Empfängern

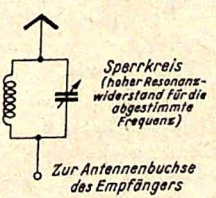


Bild 88. Schaltung des Sperrkreises

üblichen Abstimmkreise, bei denen Kondensator und Spule parallel geschaltet sind. Besonders deutlich wird die Wir-

[1]) Thomson'sche Formel (Nach Sir William Thomson, engl. Physiker 1824 bis 1908).

kungsweise des in der Antennenleitung angeordneten Sperrkreises, wenn man vom Resonanzwiderstand ausgeht. Stimmt man den Sperrkreis (Bild 88) auf die Frequenz eines Störsenders ab, so hat der Sperrkreis für diese Frequenz einen

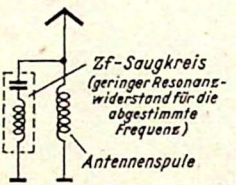


Bild 89. Zwischenfrequenz-Saugkreis

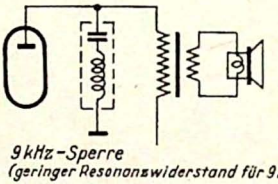


Bild 90. 9-kHz-Sperre im Anodenkreis der Endstufe

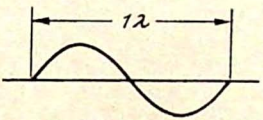
so hohen Resonanzwiderstand, daß der Störsender nicht zum Empfängereingang gelangen kann. Auch beim Abstimmkreis in den einzelnen Empfängerstufen tritt für die eingestellte Frequenz ein äußerst hoher Resonanzwiderstand auf. Dementsprechend ist die an den Enden des Abstimmkreises sich ausbildende Hf-Spannung am größten.

Liegen dagegen Kondensator und Spule in Reihe, so haben wir es mit Serienresonanz zu tun. Der Resonanzwiderstand ist sehr niedrig, so daß die Resonanzfrequenz, auf die der Serienkreis abgestimmt ist, praktisch kurzgeschlossen werden kann. Diese Möglichkeit nutzt z. B. der Zf-Saugkreis **(Bild 89)** aus, der Störungen der Zwischenfrequenz nach Masse hin ableitet. Man kann hier auch von einem Leitkreis sprechen. Ein anderer typischer Fall von Serienresonanz ist ferner bei der 9-kHz-Sperre gegeben **(Bild 90).** Dieser z. B. im Anodenkreis der Endstufe angeordnete Leitkreis schließt die 9-kHz-Frequenz kurz, ohne die benachbarten Frequenzen merklich zu benachteiligen. In der Praxis bemißt man die Kapazität des Leitkreises verhältnismäßig klein (z. B. 50 pF für den 468-kHz-Saugkreis), um einen möglichst steilen Anstieg des Resonanzwiderstandes für die Nachbarfrequenzen zu gewährleisten. Der Leitkreis-Kondensator muß für einen ausreichend hohen Spannungswert (z. B. 1500 V-) bemessen sein, da die auftretende Anodenwechselspannung höher ist als die anliegende Anodengleichspannung.

3. *Frequenz, Wellenlänge und Frequenzbereiche*

Auf Seite 74 entnahmen wir, daß als Einheit der Frequenz (f) das Hertz (Hz) gilt. Wenn wir die Frequenz mit der Lichtgeschwindigkeit von 300 000 km/sec, die der Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Schwingungen entspricht, in Beziehung bringen, erhalten wir die Wellen-

Bild 91. Wellenlänge



länge (λ). Zeichnerisch ausgedrückt, entspricht die Wellenlänge der Periode **(Bild 91).** Früher rechnete man häufig mit Wellenlängen, heute bevorzugt man die für das Rechnen praktischeren Frequenzangaben.

Für die Umrechnung von Wellenlänge in Frequenz dient die Formel:

$$\lambda = \frac{300000}{f}$$

λ = Wellenlänge (m)
f = Frequenz (kHz)

Die Frequenz errechnet sich aus der Wellenlänge:

$$f = \frac{300000}{\lambda}$$

λ = Wellenlänge (m)
f = Frequenz (kHz)

Das mit elektrischen Hilfsmitteln erfaßbare Frequenzgebiet bis etwa 300 000 MHz kann man in neun Einzelbereiche aufteilen (siehe Tabelle auf Seite 94).

Für Rundfunkzwecke wird heute allgemein der Frequenzbereich von etwa 150 kHz...100 MHz verwendet. Im deutschen Fernsehen sind die Frequenzbänder von 41...216 MHz und 470...960 MHz gebräuchlich. Die Fernseh-Relaisstrecken benutzen Meter- und Dezimeterwellen.

Die obere Grenze des Frequenzspektrums reicht wesentlich über 300 000 MHz hinaus. Die Anwendungsbereiche liegen jedoch außerhalb des Gebietes der elektrischen Wellen, so daß wir hierauf nicht weiter eingehen wollen.

In der Radiotechnik interessierendes Gesamtfrequenzgebiet

Frequenzbereiche	Anwendungsgebiete
0...100 Hz	Niederfrequenz (Starkstromtechnik)
30...15 000 Hz	Tonfrequenz (Elektroakustik, Tonfilm, Rundfunk)
10 kHz...100 kHz	Mittelfrequenz (Ultraschalltechnik, Kommerzieller Funk)
100 kHz... 3 MHz	Mittlere Hochfrequenz (Rundfunk, Schiffsfunk)
3 MHz...30 MHz	Kurzwellen (Kommerzieller Funk, Rundfunk)
30 MHz...300 MHz	Ultrakurzwellen (Fernsehen, Navigation, Polizeifunk, Rundfunk)
300 MHz...3000 MHz	Dezimeterwellen (Fernsehen, Navigation, Polizeifunk, Rundfunk)
3000 MHz...30 000 MHz	Zentimeterwellen (Fernsehen, Navigation)
30 000 MHz...300 000 MHz	Wissenschaft und Forschung

4. Güte und Dämpfung des Schwingungskreises

Trägt man die Resonanzspannung eines Schwingkreises als Kurve auf, so erhält man je nach der Güte der Spule oder des Schwingungskreises Resonanzkurven gemäß **Bild 92.** Die steile Resonanzkurve gilt für einen Schwingkreis mit verlustarmer Spule (Hf-Eisenkern, Hf-Litze). Die Höhe der Resonanzspannung ist ein Maß für die Güte der Spule und des Schwingkreises.

Die Spulenverluste kann man klein halten, wenn man an Stelle von Kupfer-Volldraht Hf-Litze verwendet. Infolge des sogenannten Hauteffektes (Skin-Effekt) nimmt der Widerstand eines Leiters für Hochfrequenz mit steigender Frequenz zu. Bei hohen Frequenzen darf man daher nur die Oberfläche des Drahtes bis zu einer gewissen Eindringtiefe als Leiter betrachten. Die Hf-Litze berücksichtigt diesen Umstand. Sie setzt sich aus einer Anzahl dünner voneinander isolierter Einzeldrähte zusammen (z. B. 20×0,07 mm). Die Güte von Spulen hängt ferner u. a. auch von den Wirbelstromverlusten ab. Bei Luftspulen mit einem größeren Streu-

feld darf die Abschirmung erst in einer bestimmten Entfernung so angebracht werden, daß nur wenige Kraftlinien der Spule zur Abschirmung gelangen. Hf-Eisenspulen, vor allem mit völlig geschlossenem Kern, kann man jedoch enger kapseln.

Weitere Verluste in Schwingkreisen können bei Kondensatoren durch das Dielektrikum entstehen. Man muß daher Kondensatoren mit einem kleinen Verlustwinkel bevorzugen. Die sogenannten Schaltkapazitäten erhöhen gleichfalls die Verluste des Schwingkreises. In den UKW-Bereichen sind daher kurze, kopplungsfreie Verbindungen besonders wichtig.

Die Summe aller Verluste im Schwingkreis bewirkt die Dämpfung. Sie läßt sich mit einem zusätzlichen ohmschen Widerstand vergleichen. Es ist daher sehr wichtig, die Dämpfung des Schwingungskreises so gering wie möglich zu halten.

5. Abstimmkreis und Bandfilter

Die Resonanzfrequenz des Abstimmkreises kann man durch Ändern des Kondensators oder der Spule innerhalb des je-

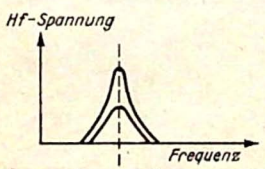


Bild 92. Resonanzkurven von Schwingkreisen verschiedener Güte

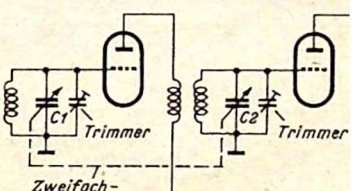


Bild 93. Abstimmung mit Hilfe eines Zweifach-Drehkondensators (C_1, C_2)

weiligen Wellenbereichs beliebig abstimmen. Im Rundfunkempfängerbau bildet der veränderliche Kondensator in Form des Drehkondensators die Regel. Bei Mehrkreisern befinden sich zwei oder drei Drehkondensatoren (z. B. C1, C2) auf einer Achse und werden durch einen gemeinsamen Drehknopf bedient. Für den kapazitiven Abgleich sind den Drehkondensatoren Trimmer parallel geschaltet **(Bild 93).**

In Autoempfängern und auch im UKW-Teil finden wir u. a. auch die schon früher besprochene Induktivitätsabstimmung durch Verschieben der Spulenkerne (auch Variometerabstimmung genannt). Sie läßt wesentliche Raumeinsparungen zu und bietet wirtschaftliche Vorzüge. Die innerhalb des Spulenrohres zu verschiebenden Hf-Kerne können gekuppelt werden. Es ist daher auch beim induktiven Abstimmverfahren Einknopfabstimmung möglich **(Bild 94)**.

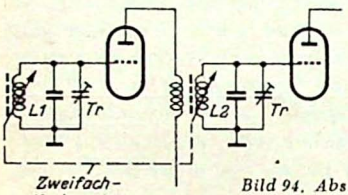


Bild 94. Abstimmung mit Hilfe eines Zweifach-Variometers (L_1, L_2)

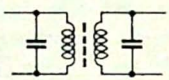


Bild 95. Prinzipschaltung des Bandfilters

Koppelt man zwei Abstimmkreise so miteinander, daß sie gemeinsame magnetische oder elektrische Felder ,haben **(Bild 95)**, so erhält man bei loser Kopplung eine spitz verlaufende Resonanzkurve **(Bild 96, Kurve a)** und bei festerer Kopplung eine verbreiterte Kuppe mit zwei Höckern und einer kleinen Einsattelung (Bild 96, **Kurve b)**. Die Steilheit der Flanken bleibt unverändert. Diese als Bandfilter bezeichnete Anordnung ist heute Bestandteil jedes Supers, denn sie läßt die Seitenbänder der Modulation eines Senders gleichmäßig gut durch. Ein Mittelklassen-Super verwendet z. B. zwei solche Bandfilter, die auf die Zwischenfrequenz des Empfängers abgestimmt sind.

In der Empfangspraxis ist es wünschenswert, in Anpassung an die jeweiligen Empfangsbedingungen Bandfilter-Resonanzkurven des Typs a oder b oder deren Zwischenwerte wählen zu können. Für diesen Zweck sind Zf-Bandfilter mit veränderlicher Kopplung nach **Bild 97** bestimmt. Die Bandbreite läßt sich hier kontinuierlich mit Hilfe der Koppelspule L1 ändern. L1 ist eine bewegliche Teilspule, die zwischen den feststehenden Bandfilterspulen L 2, L 3 bewegt wird. Es gibt noch verschiedene andere Methoden der Bandbreitenregelung, z. B.

auch mit umschaltbarer Koppelspule, auf die wir jedoch hier nicht weiter eingehen wollen.

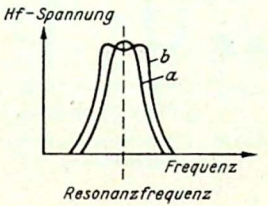


Bild 96. Resonanzkurven eines Zf-Bandfilters bei verschiedener Kopplung

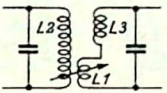


Bild 97. Zf-Bandfilter mit veränderlicher Bandbreite

6. Elektronenröhren

In einem luftleer gepumpten Gefäß aus Glas oder Metall sind verschiedene metallische Elektroden enthalten, deren Anschlüsse isoliert herausgeführt werden. Die einfachste Röhre, die *Diode*, enthält als Elektroden eine Katode und eine Anode. Die Katode ist ähnlich wie bei der Glühlampe als Heizfaden ausgebildet und wird durch eine äußere Spannungsquelle geheizt. Der Heizfaden besteht aus Wolfram und ist mit einer Schicht von Bariumoxyd überzogen. Bei den Röhren mit indirekt geheizter Katode befindet sich die Bariumoxydschicht auf einem Nickelröhrchen, in dessen Innern der Heizfaden isoliert untergebracht ist. Indirekt geheizte Katoden werden in Netzröhren verwendet, um die bei direkter Wechselstromheizung auftretenden Brummstörungen zu vermeiden.

Sobald die Katode im luftleeren Röhrenkolben glüht, treten aus ihrer Oberfläche Elektronen aus. Es bildet sich eine Elektronenwolke aus. Man nennt diesen Vorgang Emission. Befindet sich bei der Diode zwischen der Anode und der Katode eine höhere Gleichspannung, so werden die negativen Elektronen mit großer Geschwindigkeit von der positiven Anode angezogen. Es entsteht der Anodenstrom I_a **(Bild 98)**. In der Radiotechnik verwendet man Dioden z. B. als Netzgleichrichter oder als Hf-Demodulator.

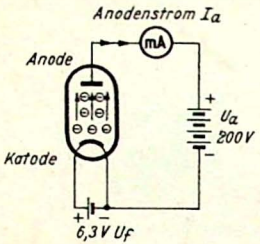


Bild 98. Emissionsvorgang in der Diode

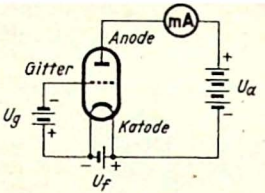


Bild 99. Triode mit negativer Gittervorspannung

Bei der *Triode* befindet sich zwischen Katode und Anode noch ein *Gitter* mit einer kleinen negativen Spannung. Dieses Gitter hat die Form einer Drahtspirale. Die negative Gitterspannung zwingt einen Teil der Elektronen zur Umkehr und verringert den Anodenstrom. Je geringer die Gitterspannung ist, desto größer wird der Anodenstrom. Man kann also durch Ändern der Gitterspannung den Anodenstrom steuern und damit die Verstärkung der Triode regeln **(Bild 99).**

Die Abhängigkeit des Anodenstromes von der Gitterspannung geht aus den *Anodenstrom-Gitterspannungs-Kennlinien* hervor. Die in **Bild 100** gezeigten Kurven gelten für gleichbleibende Anodenspannungen (90 Volt, 120 Volt). Man erkennt, daß die Kennlinien unten und z. T. auch oben mehr oder weniger gekrümmt sind. Verwendet man die Röhre als Verstärker, so darf man nur den mittleren geraden Teil der Kennlinien benutzen. Die Anodenstromänderung für 1 Volt Gitterspannungsänderung bezeichnet man als Steilheit S. Sie ist für die in Bild 100 gezeigte Röhre z. B. 0,9 mA/V.

Ein anderer Fachausdruck der Röhrentechnik ist der *Durchgriff*. Man versteht darunter das Verhältnis zwischen der Gitterspannungsänderung ΔUg und der Anodenspannungsänderung ΔUa einer Elektronenröhre in bezug auf konstante Anodenstromänderung. Der Durchgriff ist ein Maß dafür, wieviel mehr eine Gitterspannungsänderung auf den Anodenstrom

oder einen anderen Strom wirkt als eine Anodenspannungsänderung. Es gilt die Formel

$$D\,\% = \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} \cdot 100\,\%$$

D = Durchgriff
ΔU_g = Gitterspannungsänderung
ΔU_a = Anodenspannungsänderung

Für die in den Kennlinien Bild 100 gezeigte Röhre ist der Durchgriff z. B. 6,5 %.

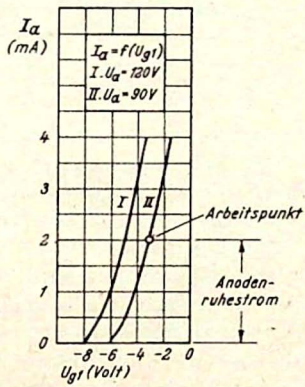


Bild 100. Anodenstrom-Gitterspannungs-Kennlinien

Als *Arbeitspunkt* bezeichnet man einen in der Mitte des geradlinigen Teiles der Kennlinie gelegenen Punkt, der für eine bestimmte Gitterspannung den Anodenstrom festlegt (vgl. Bild 100).

Ein sehr wichtiger Begriff ist ferner der Wechselstrom-*Innenwiderstand* R_i, der für die Strecke Katode—Anode gilt und frequenzunabhängig ist. Für die drei Größen Steilheit, Durchgriff und Innenwiderstand gilt die Gleichung:

$$R_i \cdot D \cdot S = 1$$

R_i = Innenwiderstand (kΩ)
D = Durchgriff (% : 100)
S = Steilheit (mA/V)

Mit dieser Formel läßt sich jede dritte Größe berechnen, wenn zwei Größen bekannt sind.

Im modernen Rundfunkempfänger werden Röhren zur Spannungsverstärkung und zur Leistungsverstärkung ver-

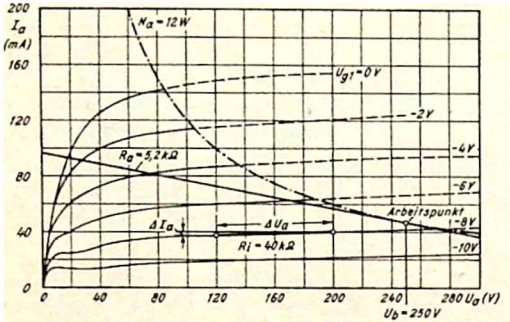


Bild 101. Kennlinienfeld der Endpentode EL 84. Anodenstrom in Abhängigkeit von Anoden- und Gitterspannung. Eingetragene Arbeitsgerade für R_a = 5,2 kΩ

wendet. Bei der *Spannungsverstärkung* kommt es darauf an, die geringe Wechselspannung zu vergrößern, während die *Leistungsverstärkung* angewandt wird, um die zum Betrieb des Lautsprechers erforderliche Leistung zu erzeugen.

Ein Nachteil der Triode ist die *Anodenrückwirkung*. Ein Teil der anodenseitig auftretenden Wechselspannung wirkt sich am Gitter der Röhre gegenphasig gegenüber der steuernden Gitterwechselspannung aus und schwächt die Eingangsspannung und damit die Verstärkung. Abhilfe bieten Mehrgitterröhren. Bei der *Schirmgitterröhre* (Tetrode) ist zwischen Steuergitter und Anode ein engmaschiges zweites Gitter mit einer hohen positiven Spannung angeordnet. Das Schirmgitter befindet sich in der Nähe der Katode und übt eine kräftige Saugwirkung auf die austretenden Elektronen aus, die mit großer Geschwindigkeit zwischen den Gitterdrähten hindurch zur Anode fliegen. Die Verstärkungsziffer der Schirmgitterröhre ist hoch, da man hohe Außenwiderstände anwenden kann. Das Schirmgitter schirmt Steuergitter und Anode statisch ab. Demzufolge ist die Gitter-Anodenkapazität sehr klein (z. B. nur 0,005 pF). Die bei Trioden-Hf-Verstärkung erforderliche Neutralisation wird überflüssig.

Wenn die Elektronen auf die Anode aufprallen, entstehen sogenannte *Sekundärelektronen*, die bei höherer Schirmgitterspannung vom Schirmgitter angezogen werden und zu einem Rückgang des Anodenstromes führen können. Diesen Nachteil vermeidet das zwischen Schirmgitter und Anode angeordnete

weitmaschige Bremsgitter. Es hat Nullpotential, bremst die Sekundärelektronen ab und wirft sie wieder zur Anode zurück. Diese Röhre hat drei Gitter und wird als *Pentode* bezeichnet **(Bild 102).**

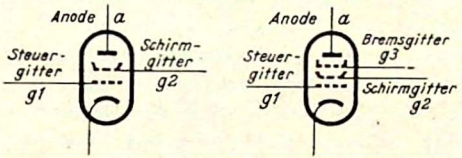


Bild 102. Systemanordnung der Tetrode (links) und Pentode (rechts)

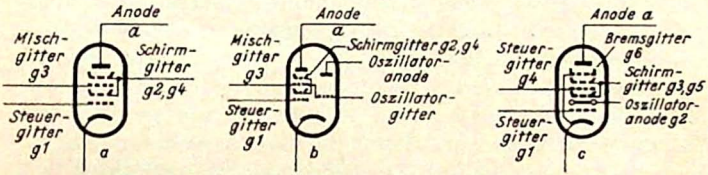


Bild 103. Systemaufbau der Hexode (a), Triode-Hexode (b) und Oktode (c)

Wir hörten bereits, daß man durch Verschieben des Arbeitspunktes die Steilheit beeinflussen kann und sich dadurch grundsätzlich die Verstärkung regeln läßt. Allerdings muß man bei Röhren mit normalen Kennlinien (scharfer Knick im unteren Teil) mit Verzerrungen rechnen. Bei den *Regelröhren* tritt dieser Nachteil nicht auf. Die Kennlinien laufen flach aus und sind gleichmäßig gekrümmt.

Mit vier Gittern ist die *Hexode* ausgestattet. Sie enthält zwei Steuergitter, so daß man zwei verschiedene Wechselspannungen mischen kann. Zwischen Anode und den beiden Steuergittern g3 und g1 ist jeweils ein Schirmgitter angeordnet. Die Schirmgitter g2, g4 schirmen die Elektroden untereinander statisch ab. Die früher auch als Hf-Verstärker benutzte Hexode wird in der Kombination mit einer Triode als Mischröhre im Super verwendet. In der neuesten Form als Triode-Heptode ist eine Heptode (fünf Gitter) mit einer Triode als Oszillatorröhre kombiniert.

Eine früher häufig verwendete Mischröhre ist die *Oktode*, die auch die Oszillatorschwingungen erzeugt. Das Oszillatorgitter arbeitet gleichzeitig als Mischgitter. Wie bei allen Mischröhren hat das eigentliche Steuergitter eine Regelkennlinie. **Bild 103** zeigt den grundsätzlichen Aufbau der Hexode (a), der Triode-Hexode (b) und der Oktode (c).

Weit verbreitet sind in modernen Empfängern *Abstimmanzeigeröhren* in Form des Magischen Auges, des Magischen Fächers oder des Magischen Strichs. Bei diesen Röhren treffen die Elektronen auf einen kleinen, mit Leuchtmasse ausgestatteten Metallschirm. Dieser bildet die Anode, während durch die Steuerstege die Leuchtfläche bestimmt wird.

Die von der deutschen Röhrenindustrie hergestellten Empfangs-, Verstärker- und Gleichrichterröhren werden nach einem besonderen System bezeichnet. Die Typenzahl setzt sich aus Buchstaben und Ziffern zusammen. Die Tabelle gibt die Aufschlüsselung für die neueren Röhren an, wie sie u. a. von Siemens, Telefunken und Valvo verwendet wird.

In der Bastelpraxis werden vielfach die Verbundröhren (z. B. ECL 80) bevorzugt, da man dadurch eine weitere Röhre einsparen kann. Vor allem in kleineren Geräten bewährt sich diese Röhrenart. Allerdings hat sie den Nachteil, daß die Röhre ersetzt werden muß, sobald das eine System verbraucht ist, während das andere noch volle Leistung hat. Von den verschiedenen Empfängerröhren nutzen sich die Endröhren und die Gleichrichterröhren am schnellsten ab. Zu den Röhren, die man häufiger zu ersetzen hat, gehören ferner Oszillator- und Mischröhren. Für die Mischheptoden mit Trioden-Oszillator gilt das gleiche wie für die Nf-Verbundröhren.

Im Netzteil von Rundfunkempfängern und Verstärkern werden heute in der Regel Selengleichrichter bevorzugt, da sich in schaltungstechnischer Hinsicht Vereinfachungen ergeben und die Lebensdauer der Selengleichrichter größer ist.

Ferner kommt den Germaniumdioden immer größere Bedeutung zu. Sie werden heute in Detektorempfängern bevorzugt und bieten hier keinerlei Schwierigkeiten hinsichtlich der Kontaktgabe. In Selbstbau-Spezialgeräten (z. B. kleine Reisesuper für Kopfhörerempfang) findet man die Germanium-

diode mitunter als Hf-Gleichrichter. Sie kann aber auch noch für andere Spezialzwecke benutzt werden (z. B. als Gleichrichter für Störspannungsbegrenzer). Der Transistor kommt in Selbstbaugeräten z. B. für Sonderzwecke in Betracht, wenn man besonders kleine Abmessungen erzielen will oder das Gerät aus einer kleinen Batterie von einigen Volt Spannung (z. B. 4,5...6 V) gespeist werden soll. Nach dem Stand der Technik kann man heute Empfänger, Verstärker, Meßgeräte und selbst kleine Telefoniesender komplett mit Transistoren bestücken. Die Verwendung von Röhren ist aber vielfach für den Selbstbau wirtschaftlicher.

Röhrenschlüssel

Röhrenserie (1. Buchstabe)	*Röhrentyp* (2. und 3. Buchstabe)
A = 4-V-Wechselstromheizung (ind.)	A = Diode
B = 180-mA-Gleichstromserie (ind.)	B = Duodiode
C = 200-mA-Allstromserie (ind.)	C = Triode
D = 1,2...1,4-V-Batterieröhren	D = Endtriode
E = 6,3-V-Wechselstromheizung (ind.)	E = Tetrode
F = 13-V-Heizung (ind.)	F = Pentode
H = 0,15 A, 4-V-Batterieserie (dir.)	H = Hexode oder Heptode
K = 2-V-Batterieserie (dir.)	K = Oktode
P = 300-mA-Allstrom- oder Wechselstromheizung (ind.)	L = Endpentode
U = 100-mA-Allstromröhren (ind.)	M = Abstimmanzeigeröhre
V = 50-mA-Allstromröhren (ind.)	Q = Nonode
	X = Vollweggleichrichter mit Gasfüllung
	Y = Hochvakuum-Einweggleichrichter
	Z = Hochvakuum-Zweiweggleichrichter

Bedeutung der auf die Buchstaben folgenden Ziffern:

1...9 = Außenkontaktsockel; 11...19 = Stahlröhrensockel; 20...29 = Preßglasröhren und Schlüsselröhren; 30...39 = Octalsockel; 40...49 = Rimlocksockel (Pico 8); 60...69 = Subminiaturröhren; 80...89 = Miniaturröhren in Novaltechnik (Pico 9); 90...99 = Miniaturröhren mit sieben Stiften (Pico 7).

IX. Praktische Konstruktionstechnik

In diesem Kapitel wollen wir uns mit wichtigen Fragen der allgemeinen Radio-Konstruktionstechnik befassen und Ratschläge kennenlernen, die es uns gestatten, mit einem Minimum an Zeit- und Geldaufwand auszukommen. Es bedarf oft jahrelanger Erfahrung, bis man sich beim Bau von Radiogeräten aller Art zweckmäßige Konstruktionsverfahren angeeignet hat, wie sie dieser Abschnitt vermittelt.

1. Anordnung der Einzelteile

Bevor wir mit dem Bau eines Empfängers oder Meßgerätes beginnen, müssen wir eine in allen Einzelheiten wohl überlegte *Schaltung* haben. Dann sind die *Bauelemente* zu beschaffen. Erst wenn das Material vollständig ist, können wir uns mit dem ersten *Konstruktionsentwurf* beschäftigen.

Die Abmessungen des Chassis richten sich bei Empfängern nach der Stufen- und Röhrenzahl. Im modernen Empfängerbau bevorzugt man allgemein schmale Chassis. Die Einzelteile lassen sich dann in der Reihenfolge des Chassis anordnen. Es ist ferner möglich, die Gehäusetiefe verhältnismäßig klein zu halten und günstigere Gehäuseabmessungen zu erzielen. Früher war z. B. eine Chassistiefe von 250 mm nicht außergewöhnlich. Heute stehen wesentlich kleinere Bauteile zur Verfügung. Man kommt daher vorwiegend mit einer Chassistiefe von 120 bis 150 mm aus, wenn man Röhrenempfänger mit Netzteil aufbauen will.

Wir stellen nun die Einzelteile so auf dem Chassis auf, wie sie später eingebaut werden sollen. Es bedarf sorgfältiger Überlegungen, um die in mechanischer und elektrischer Hinsicht günstige Anordnung zu finden. So muß man beachten, daß durch unzweckmäßige Aufstellung der größeren und schwereren Teile die Stabilität des Chassis leiden kann. Transformatoren sollten daher möglichst nicht in Chassismitte, sondern links oder rechts außen befestigt werden. Den schweren Netztransformator kann man auch seitlich am Chassis anbauen, wenn das Gehäuse entsprechende Platzreserven bietet. Der Befestigungswinkel wird dann so ausgeführt, daß er gleichzeitig das Chassis versteift.

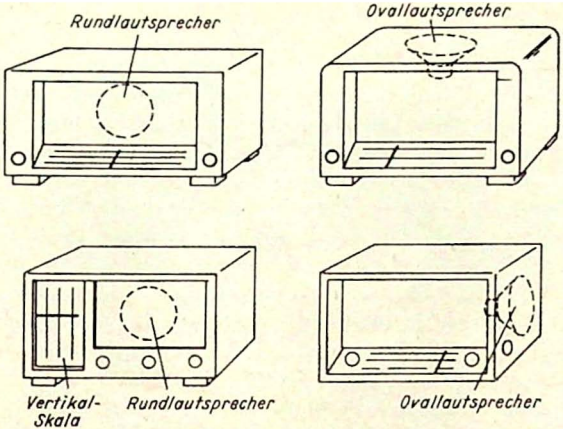


Bild 104. Wie man Lautsprecher im Gehäuse anordnen kann

Fehler im mechanischen Aufbau führen nicht selten dazu, daß man das Gerät ein zweites Mal aufbauen muß. Dies kann man vermeiden, wenn jetzt schon an Arbeiten gedacht wird, die erst nach dem eigentlichen Aufbau auszuführen sind. Hierher gehört z. B. der Skalen- und Gehäuseeinbau. Die Skala vergrößert die Abmessungen des Chassis in vertikaler oder horizontaler Richtung, je nachdem es sich um eine senkrechte oder waagerechte Skala handelt. Besonders unangenehm ist die spätere Feststellung, daß das fertige Chassis nicht mehr zum Gehäuse paßt, da die Abmessungen zu groß sind, die Drehknöpfe ungünstig liegen oder nach der späteren Montage der Skala am Chassis die Gehäusehöhe zu gering ist. Im Zusammenhang damit sollte man sich schon jetzt klar werden, welcher Lautsprecher in das Gehäuse eingebaut werden soll. Bei Vertikal-Skalen ordnet man den Lautsprecher neben der Skala an, während bei den heute allgemein üblichen Horizontalskalen der Lautsprecher stets über der Skala Platz findet. Steht nur wenig Raum zur Verfügung, kann das Lautsprechersystem auch seitlich oder im Gehäusedeckel untergebracht werden **(Bild 104)**. Aller-

dings ist das bei einem Hauptlautsprecher weniger günstig, bei Hochtonsystemen wiederum vorteilhaft.

Ebenso wichtig wie die Einzelteile-Anordnung auf der Montageplatte sind die darunter liegenden Positionen. Hier befinden sich fast die gesamte Verdrahtung mit Kondensatoren und Widerständen, u. a. ferner die Netzdrossel, größere Elektrolytkondensatoren usw. Sollen unterhalb der Montageplatte größere Einzelteile eingebaut werden, muß man schon bei der Planung auf der Montageplatte darauf Rücksicht nehmen. Es darf nicht vorkommen, daß die Montage der Einzelteile unübersichtlich und unpraktisch wird und in Reparaturfällen beim Ausbau z. B. der Netzdrossel unterhalb der Chassisplatte erst der Netztransformator auf der Montageplatte entfernt werden muß.

Das Konstruktionsbeispiel für einen Einkreis-Zweiröhren-Empfänger zeigt **Bild 105.** Die Einzelteile sind auf der Montageplatte in der Reihenfolge des Schaltbildes angeordnet. Drehkondensator, Spulensatz und Audion befinden sich rechts, die Endröhre mit dem Ausgangstransformator etwa in der Mitte und der Netztransformator mit Selengleichrichter und Elektrolytkondensatoren links. Die Drehknöpfe für Lautstärkeregler (+ Netzschalter), Rückkopplungsregler

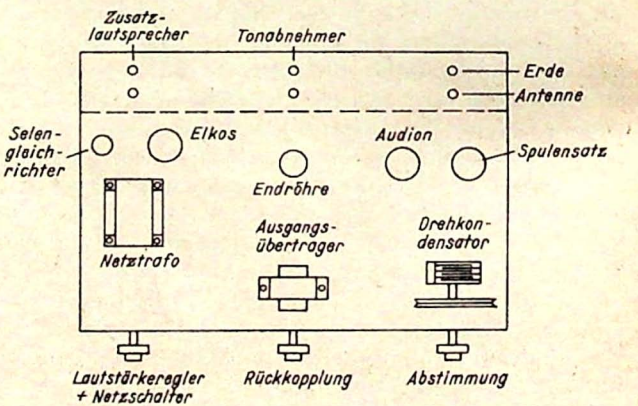


Bild 105. Beispiel für die Einzelteilanordnung eines Einkreis-Zweiröhrenempfängers

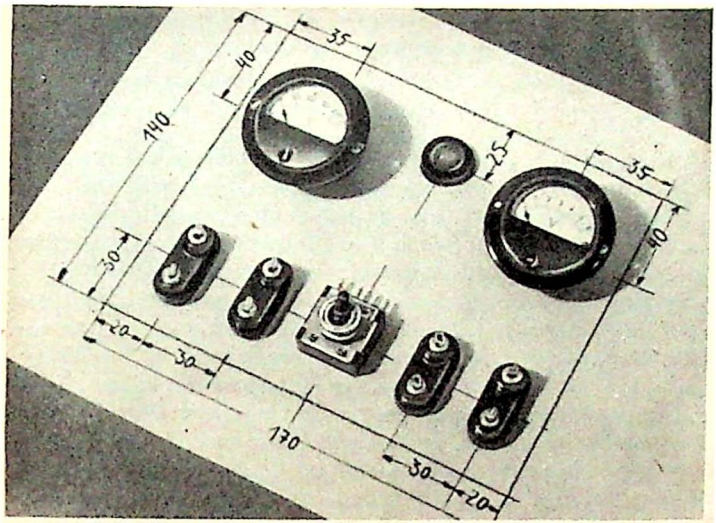


Bild 106. Maßskizze und Bohrschablone, die gleichzeitig zum Überprüfen der Einzelteilanordnung dient

und Abstimmung sind an der Frontseite symmetrisch aufgeteilt, ferner auch die Anschlußbuchsen für Antenne, Erde, Tonabnehmer und Zusatzlautsprecher an der Rückseite.

Für die Montage müssen zunächst die Löcher für die Befestigung der Einzelteile gebohrt werden. Die Bohrlöcher sind vorher genau anzureißen. Es ist dabei zweckmäßig, eine Zeichnung mit den genauen Ankörnpunkten anzufertigen, die man auf die Montageplatte legt. Diese Skizze wird beim Ankörnen angeklammert oder festgeklebt. Sie gestattet aber auch noch, einmal zu überprüfen, ob die Einzelteileanordnung in allen Einzelheiten wirklich zweckmäßig ist oder noch gewisser Korrekturen bedarf, wenn sich die Bauteile auf den geplanten Montage-Positionen befinden **(Bild 106)**. Dieses Verfahren ist sicherer als das übliche Anreißverfahren, bei dem man auf Grund einer Skizze jedes Maß einzeln übertragen muß. Nach längerer Baupraxis genügt es auch, die

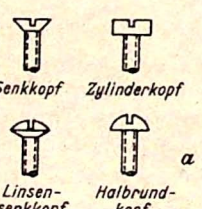
Bauteile einfach auf das Chassis zu stellen und die Bohrlöcher je Bauelement einzeln anzureißen.

2. *Montage*

Die Einzelteile werden bei Selbstbaugeräten fast stets mit Schrauben und Muttern befestigt. Dieses Verfahren läßt eine sichere Befestigung zu und gestattet eine schnelle Montage. Es stehen vier verschiedene Schraubenarten zur Verfügung, die sich nach der Ausführung des Kopfes unterscheiden: Schrauben mit Linsensenkkopf, Halbrundkopf, Senkkopf oder Zylinderkopf **(Bild 107a).** Für Metallchassis eignen sich Zylinderkopf- und Senkkopfschrauben besonders. Senkkopfschrauben kommen vor allem für Metall-Frontplatten in Betracht, die später gespritzt werden und bei denen die Schrauben nicht auffallen dürfen. Schraubenverbindungen mit Muttern haben den Nachteil, daß sie sich im Laufe der Zeit lockern. Man kann dies durch Sicherungslack verhindern, der vielfach rot ist und an der Mutter so angebracht wird, daß Schraubenende und Mutter von Lack überzogen sind **(Bild 107b).**

Aus Zeitgründen werden es sich nur wenige leisten können, auf die Muttern ganz zu verzichten und Gewinde in das Chassisblech zu schneiden. Sind die Muttern z. B. schwer zugänglich oder müßte ein anderes Bauelement ausgebaut werden, um die Schraubenverbindung zu lösen, wird man Gewinde schneiden.

In der Radio-Montagepraxis bevorzugt man allgemein M-3-Schrauben. Für Metallchassis kommen vorwiegend Schrauben-



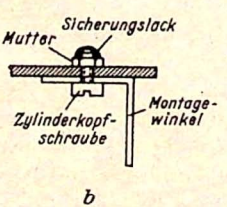


Bild 107a. Gebräuchliche Schraubenarten

Bild 107b. Montagebeispiel mit Zylinder-Kopfschraube und Sicherungslack

längen von 10 und 15 mm Länge in Betracht. Längere Schrauben kneift man ab. Die Schnittfläche muß dann allerdings mit einer scharfen Feile bearbeitet werden, damit der unvermeidliche Grat die Gewindegänge beim Herausschrauben nicht beschädigt. Zur Befestigung von Kleinbauteilen benötigen wir mitunter 2,6-mm-Schrauben, die wir mit passenden Muttern gleichfalls auf Lager halten müssen.

Größere Löcher, die wir nicht mehr bohren können (z. B. über 15 mm) und die für die Montage von Elektrolytkondensatoren, Röhrenfassungen, Spulenbechern usw. notwendig sind, schneiden wir mit dem Kreisschneider aus. Man kann aber auch das betreffende Blechstück durch Bohrungen, Loch neben Loch, auf dem durch Zirkel anzuzeichnenden Kreisbogen ausbohren. Diese Arbeit ist bedeutend mühseliger und macht das Nacharbeiten mit der Rundfeile notwendig, um den Grat zu entfernen. Große Löcher in Platten, die nicht abgebogen sind, sägen wir mit dem Laubsägebogen aus. Handelt es sich um Metallplatten, so müssen geeignete Metallsägen benutzt werden.

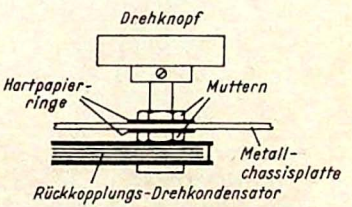


Bild 108. Isolierte Befestigung eines stromführenden Rückkopplungs-Drehkondensators auf dem Metallchassis. Die Hartpapierringe isolieren die Achse gegen das Chassis

Die Buchsen für Antenne, Erde, Tonabnehmer usw. sollen fest im Chassis sitzen und dürfen sich nicht drehen. Diesen Anforderungen entsprechen handelsübliche Doppelbuchsen, die in Isolierstoff-Anschlußleisten eingepreßt sind. Eine solche Anschlußleiste mit zwei Buchsen im Abstand von 19 mm wird mit einer einzigen Schraube auf der oberen oder unteren Seite des Chassis montiert (z. B. Mentor Nr. 45 102).

Gelegentlich müssen wir Bauteile mit stromführender Achse isoliert am Chassis befestigen (z. B. Rückkopplungs-Drehkondensatoren). Die zu verwendenden Isolations-Zwischenlagen bestehen aus keramischem Material oder aus

Hartpapierringen, Die keramischen Scheiben müssen mit großer Vorsicht behandelt werden, denn sie zerspringen leicht, wenn man die Mutter zu fest anzieht. Es ist dann ratsam, zwischen Mutter und keramischer Buchse eine Pappeinlage einzufügen. Wesentlich unempfindlicher sind in dieser Beziehung Hartpapierzwischenlagen **(Bild 108).**

Nicht immer geht der Einbau des Drehkondensators auf der Montageplatte reibungslos vonstatten. Je nach den Abmessungen der Skala und des Antriebsrades wird es u. U. notwendig, den Drehkondensator nicht direkt auf dem Chassis, sondern 10 bis 40 mm darüber zu befestigen. Bis zu etwa 15 mm erhöhtem Einbau kann man Abstandsröllchen benutzen. Eine andere stabile Befestigungsart ist die Mon-

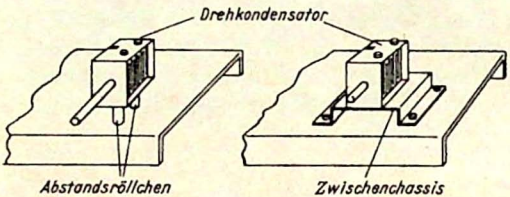


Bild 109. Montage des Drehkondensators über dem Chassis mit Hilfe von Abstandsröllchen und Zwischenchassis

tage des Drehkondensators auf einem kleinen Zwischenchassis entsprechender Höhe, das auf der eigentlichen Montageplatte festgeschraubt wird. Das Zwischenchassis hat vor allem Vorzüge, wenn der Abstand Drehkondensator—Montageplatte größer als 30 mm ist **(Bild 109).**

3. Abschirmung

In Mehrkreisempfängern (z. B. Zweikreiser, Super) kommt es darauf an, unerwünschte gegenseitige Beeinflussungen der einzelnen Stufen zu vermeiden. Aus diesem Grunde sind Spulen, Drehkondensatoren und andere empfindliche Teile abgeschirmt. Abschirmbleche wendet man heute verhältnismäßig selten an und zieht es vor, die Einzelteile so anzuordnen, daß sie sich gegenseitig nicht beeinflussen können.

Transformatoren und Drosseln sollen daher nie parallel zueinander angeordnet, sondern jeweils 90° zueinander versetzt sein **(Bild 110)**. Bei Verbundröhren mit mehreren Röhrensystemen zieht man gelegentlich innerhalb der Röhrenfassung ein Abschirmblech ein, um Kopplungen der beiden Röhrensysteme zu vermeiden **(Bild 111)**.

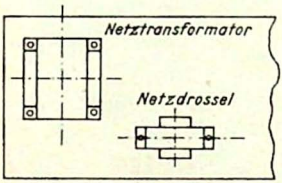


Bild 110. Kopplungen von Transformatoren und Drosseln lassen sich durch Aufstellen im Winkel von 90° vermeiden

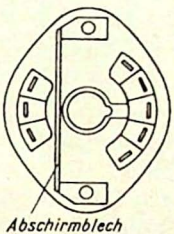


Bild 111. Abschirmblech an der Röhrenfassung

Früher war es üblich, Anoden- und Gitterleitungen abzuschirmen. Heute wird die Verdrahtung so ausgeführt, daß Kopplungen der kritischen Leitungen auf keinen Fall eintreten. Von Sonderfällen abgesehen, kommen abgeschirmte Leitungen im modernen Empfängerbau vorwiegend nur für Nf-Zwecke in Betracht, z. B. für die Nf-Leitungen zum Lautstärkeregler oder zu den Tonabnehmerbuchsen. Die jeweilige Abschirmung muß am Ende gut abgebunden sein, damit sich Kurzschlüsse durch einzelne Adern des Abschirmgeflechtes vermeiden lassen. Zwischen Abschirmung und Masse soll gute Lötverbindung bestehen. Kalte Lötstellen an Masseverbindungen führen zu Wackelkontakten, die je nach Art der Stufe Heulen, Brummen oder einen völligen Ausfall des Gerätes herbeiführen können.

4. Verdrahtung

Für die Verdrahtung der Hf-Kreise hat sich Kupferdraht von 0,5 mm Durchmesser in verzinnter Ausführung sehr bewährt. Wir können diesen Schaltdraht blank verwenden und

ihn dann mit Isolierschlauch überziehen oder aber isolierten Schaltdraht bevorzugen. Mit Ausnahme der Masseverbindungen sollen sämtliche Leitungen isoliert sein.

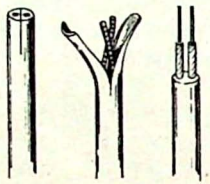


Bild 112. Abisolieren einer Gummischlauchleitung

Netzleitungen und Verbindungen vom Ausgangsübertrager zu den Anschlußbuchsen verdrahtet man vielfach mit doppelpoliger Litze. Sehr praktisch sind die neueren Litzen mit Kunststoffisolation (z. B. NYFAZ, 2×0,75 mm²). Die beiden Adern lassen sich leicht auseinanderreißen. Bei den früher üblichen Gummiaderleitungen muß man mit dem Montagemesser den Gummimantel zwischen den Adern einschneiden, auseinanderreißen und die Mantelhälften abschneiden **(Bild 112).** Der Gummi wird dann von den freigelegten Adern abgeschält. Für den Anschluß des Zusatzlautsprechers, des Tonabnehmers usw. verwendet man häufig flexible zweipolige Leitungen, die man folgendermaßen zurichtet: Man bindet zunächst die Leitung ab und schneidet die äußere Glanzgarnumspinnung auf. Dann entfernt man die innere

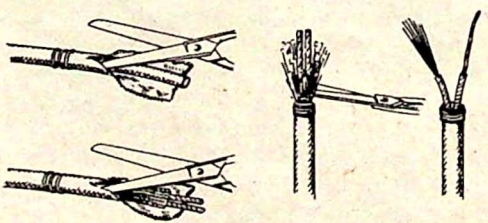


Bild 113. Zurichten einer flexiblen zweipoligen Litze

Umklöppelung und die Restfäden. In einem weiteren Arbeitsgang bindet man die Einzeladern ab und schneidet die Isolierung ab. Schließlich werden die Litzendrähte verdrillt **(Bild 113).**

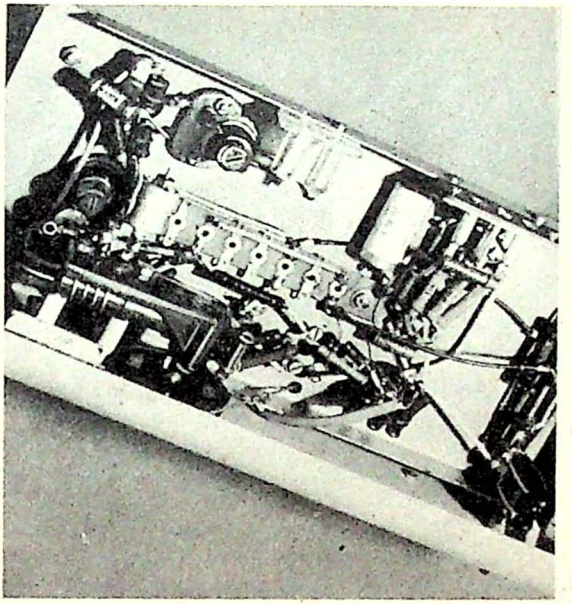


Bild 114. Verdrahtungsbeispiel. Die Verbindungen sind so kurz wie möglich ausgeführt. Kondensatoren und Widerstände befinden sich vielfach unmittelbar an den Röhrenfassungen

Erfahrungsgemäß bereitet nicht nur dem Anfänger das einwandfreie Verdrahten von Spulenenden mit Hf-Litze Schwierigkeiten. Man muß hier sehr sorgfältig vorgehen. Wenn z. B. von den vielen Adern der Hf-Litze eine einzige Ader nicht einwandfreien Kontakt mit dem Anschlußpunkt hat, sinken die Gütewerte der Spule und damit die Empfangsleistung. Die meisten Fehler werden beim Verzinnen der Hf-Litze-Adern gemacht. Einwandfrei ist folgendes Arbeitsverfahren: Wir entfernen zunächst die Seide-Isolation und spreizen die einzelnen Adern. Nun tauchen wir die Enden in Brennspiritus, zünden die Brennspiritusreste an und tauchen die Litzenenden in ein Schälchen mit Spiritus. Dieser Vorgang muß sich sehr schnell abspielen, denn die

Litzendrähte dürfen nicht ausglühen. Sie brechen sonst ab. Die verbrannten Lackreste lassen sich jetzt leicht mit Hilfe feinen Schmirgelpapiers wegnehmen, so daß wir die Litzenenden einwandfrei verzinnen können.

Bei der Verdrahtung sind in erster Linie elektrische Gesichtspunkte maßgebend und ästhetische Fragen von untergeordneter Bedeutung. Widerstände und Kondensatoren werden möglichst dicht an den Fassungen festgelötet. Überhaupt sollen die Verbindungen so kurz wie möglich ausgeführt werden. Gleichspannungsleitungen kann man zu einem Bündel zusammenfassen und einen Isolierschlauch darüber schieben. Lötösenleisten sind als Verdrahtungsstützpunkte und auch für die Montage von kleinen Bauelementen sehr vorteilhaft. Ein Verdrahtungsbeispiel zeigt **Bild 114.**

Die nach Masse führenden Leitungen dürfen nicht wahllos verlegt werden. Man findet vielfach die Auffassung verbreitet, daß es genügt, den Masseanschluß z. B. einer Spule oder eines Kondensators direkt an der nächsten Chassisschraube zu befestigen. Dieses Verfahren ist unzweckmäßig, da sich keine eindeutigen Erdungsverhältnisse, vor allem für Hochfrequenz, ergeben. Bewährt hat sich eine besondere Masseleitung aus starkem Kupferdraht (z. B. 1 bis 1,5 mm Durchmesser), die an einem einzigen Punkt mit der Erdbuchse verbunden ist. Die nach Masse führenden Leitungen sind an dieser Sammelleitung anzulöten.

Eine Ausnahme hiervon bildet die Verdrahtung in KW- und UKW-Empfängern. Hier empfiehlt es sich, die einzelnen nach Masse gehenden Leitungen in jeder Stufe zu einem zentralen Massepunkt zu führen (kürzeste Verbindungen!). Geeignete Punkte sind z. B. der Katoden- oder Abschirmungsanschluß der Röhrenfassungen.

Heizleitungen müssen so verlegt werden, daß sie nicht auf brummempfindliche Leitungen streuen können. Die Streuungen kann man gering halten, wenn man die Leitungen verdrillt.

Gewisse Vorsicht ist bei der Verdrahtung von Geräten mit Noval- und Miniaturröhren angebracht. Starre Lötverbindungen sollen an den Röhrenfassungen vermieden werden,

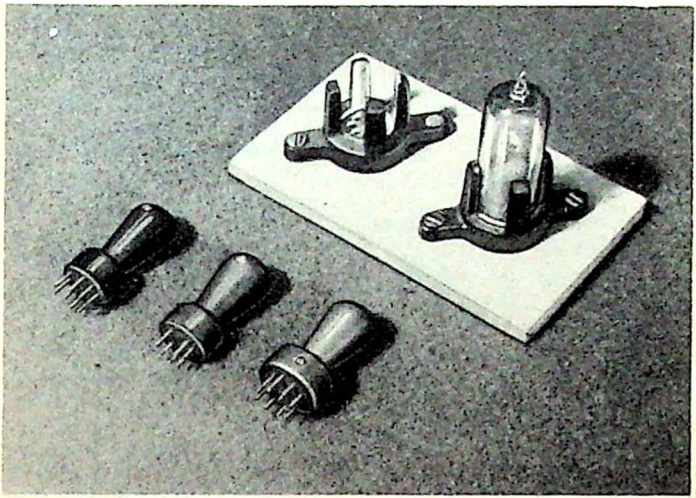


Bild 115. Richtlehren (oben) für das Ausrichten verbogener Röhrenstifte und Stahlstift-Phantome für die Verdrahtung von Röhrenfassungen

damit die lose in der Fassung sitzenden Federn hinreichende Bewegungsfreiheit haben. Um die Verdrahtung diesen Bedingungen anpassen zu können, verwendet man für die modernen 7-, 8- und 9-Stiftröhren passende Stahlstift-Phantome. Diese bestehen aus einem Aluminiumkörper, in den Stahlstifte eingepreßt sind. Für diese Röhren erweisen sich ferner Richtlehren als vorteilhaft. Sie sind so ausgeführt, daß sich die Röhren durch Zentrierstutzen vom Durchmesser des Glaskolbens leicht und sicher in die Richtfassungen einschieben lassen **(Bild 115)**. Röhren mit verbogenen Stiften werden vorsichtig in die Fassungen der Richtlehren eingedrückt. Nach dem Herausziehen der Röhren sind die Stifte wieder ausgerichtet.

5. Selbstbau von Skalen

In der Radiopraxis kommt es nicht selten vor, daß die handelsüblichen Skalen aus räumlichen oder anderen Gründen wenig für das jeweilige Gerät geeignet sind. Mit etwas

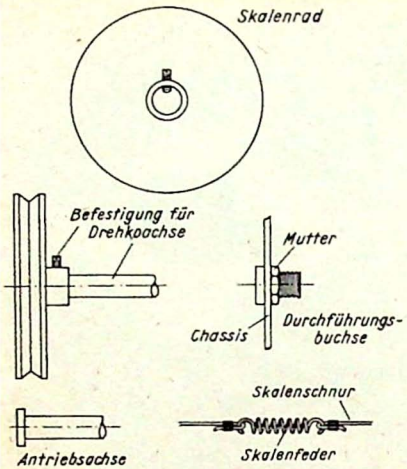


Bild 116. Einzelteile, die wir für einen einfachen Skalenantrieb benötigen

Geschick können wir uns jedoch Skalen auch selbst aufbauen. Der Aufwand hält sich dabei in angemessenen Grenzen.

Die modernen Skalen verwenden meist Schnurantrieb. Für eine solche Skala in der einfachsten Form benötigen wir ein Skalenrad, das auf die Achse des Drehkondensators gesetzt wird, eine Durchführungsbuchse mit Mutter, eine Antriebsachse sowie Skalenfeder und Skalenschnur **(Bild 116).** Wie **Bild 117** zeigt, wird die Durchführungsbuchse, die die Antriebsachse führt, etwa senkrecht unterhalb der Drehkonden-

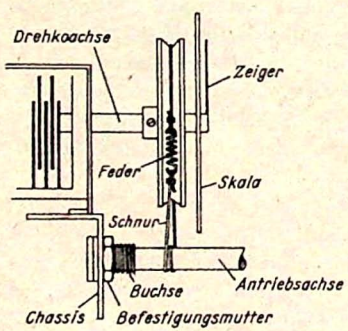


Bild 117. Vollständige Skalenanordnung, bei der der Zeiger auf der Drehkondensatorachse befestigt ist

satorachse eingebaut. Das aus Schnur- oder Stahlseil bestehende Antriebsseil verläuft zwischen der Rille des Skalenrades und der Antriebsachse und bildet eine Schleife, die durch die Skalenfeder stets gespannt ist.

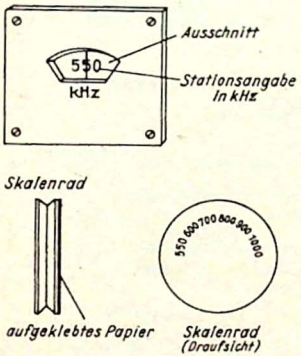


Bild 118. Einfache Ausführung von Skalenblatt und Skalenrahmen für die in Bild 117 gezeigte Skalenform (Eichung in kHz)

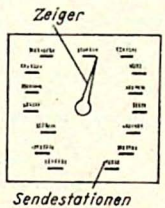


Bild 119. Andere Ausführung eines Skalenblattes, das auf der Frontplatte befestigt und durch einen Rahmen mit Glasschutz abgedeckt wird

Auch Zeigerführung und Skalenblatt lassen sich einfach ausführen. In der einfachsten Form besteht das Skalenblatt aus einem Zeichenkarton vom Durchmesser des Skalenrades, auf dem man die Stationsangaben in Frequenzen aufträgt. Das Skalenblatt wird auf das Skalenrad aufgeklebt. An der Frontplatte befindet sich ein viereckiges Verblendschild mit einem Ausschnitt, der die Eichung sichtbar werden läßt. Als Markierungspunkt dient ein dünner senkrechter Draht in der Mitte des Skalenfensters **(Bild 118).** Eine andere Ausführungsform nach dem Prinzip der Uhrenskala zeigt **Bild 119.** Die Drehkondensatorachse ragt durch die Frontplatten hindurch. Der Skalenzeiger wird am Achsenende mit Hilfe einer Schraube befestigt, während das Skalenblatt an der Frontseite Platz findet. Es empfiehlt sich, Zeiger und Skalenblatt durch eine Glasscheibe mit Rahmen abzudecken.

Nach dem gleichen Prinzip ist eine andere Skala aufgebaut, die eine bequemere Abstimmung und feinere Ablesung ge-

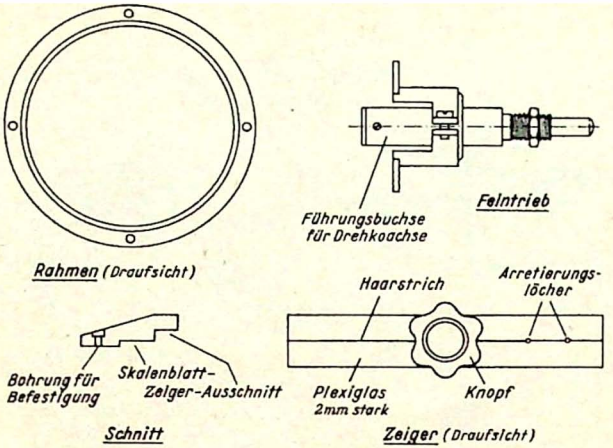


Bild 120. Einzelteile für eine Uhrenskala mit Feintrieb

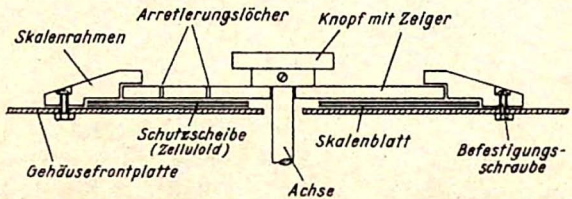


Bild 121. Grundsätzliche Anordnung einer Uhrenskala mit Feintrieb

stattet. Der kreisförmige Skalenrahmen enthält zwei Einschnitte für das Skalenblatt und für den Zeiger. Auf dem Drehknopf ist ein Plexiglaszeiger mit Haarstrich und Markierungslöchern befestigt. Die Feinabstimmung gestattet ein handelsüblicher Feintrieb mit einer Übersetzung z. B. von 1 : 6. Dieser Feintrieb wird direkt auf die Drehkondensatorachse aufgesetzt. **Bild 120** zeigt die zum Aufbau dieser Skala benötigten Bauteile, während in **Bild 121** die Skala im Querschnitt dargestellt ist. Die Einzelteile dieser Skala sind auch handelsüblich erhältlich (z. B. Großmann; Feintrieb: Mozar).

6. Ratschläge für den Gehäusebau

Gehäuse werden vom Einzelhandel in verschiedenen Ausführungen angeboten; aber nicht in allen Fällen sind die Abmessungen für das jeweilige Chassis geeignet. Vor allem fehlt es an passenden Kleingehäusen für Reiseempfänger und Netzsuper im Kleinformat. Für die Selbstherstellung solcher Gehäuse hat sich folgendes Verfahren bewährt:

Wir benötigen einen Holzkern, dessen Abmessungen (Länge, Breite und Höhe) der lichten Weite des geplanten Gehäuses entsprechen und der vom Schreiner mit den gewünschten Rundungen an den Ecken geliefert werden kann **(Bild 122)**. Der Holzkern wird nun mit gewöhnlichem Zeitungspapier überspannt. Die Enden sind etwa 20 bis 30 mm länger, damit

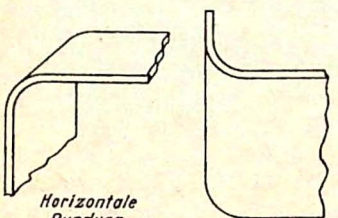


Bild 122. Beispiele für Gehäuse mit abgerundeten Ecken

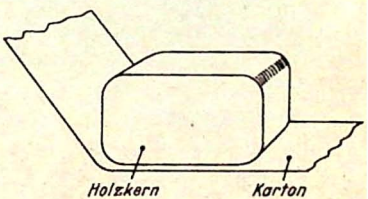


Bild 123. Umwickeln des Holzkernes mit Karton

wir sie leicht zusammenkleben können. Dann schneiden wir einen Kartonstreifen (2 bis 3 mm stark) von der Breite des Holzkernes aus, den wir in einer Lage über das Zeitungspapier wickeln. Der Karton wird mit Reißnägeln oder kleinen, nur teilweise in den Holzkern eingeschlagenen Nägeln festgelegt. Die Enden des Pappstreifens müssen eng nebeneinander liegen, dürfen sich also nicht überlappen **(Bild 123)**.

Für den nächsten Arbeitsgang beschaffen wir uns vier Stück Sperrholz-, Hartpapier- oder Holzfaserplatten, deren Abmessungen sich nach Breite, Länge und Rundung des Gehäuses richten. Die Materialstärke ist je nach Abmessungen

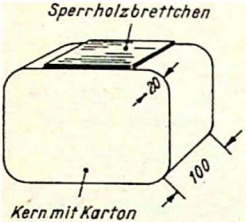


Bild 124. Festkleben der Sperrholzbrettchen

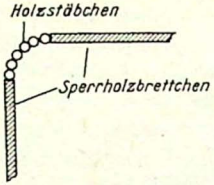


Bild 125. Ausfüllen der Rundungen mit Holzstäbchen

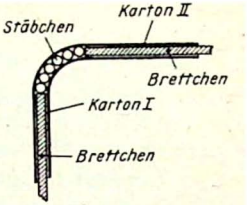


Bild 126. Aufkleben einer weiteren Kartonlage

und Gewichtsbelastung 3 bis 5 mm. Wir entfernen nun auf der den Kartonenden entgegengesetzten Seite die Befestigungsstifte, bestreichen die Kartonseite und das festzuklebende Sperrholzbrettchen mit Klebstoff (Alleskleber) und spannen die Anordnung in den Schraubstock, bis der Klebevorgang beendet ist. In ähnlicher Weise kleben wir dann die Sperrholzbrettchen auf den drei anderen Seiten fest. **Bild 124** zeigt das angewandte Prinzip.

Die noch unbeklebten Rundungen füllen wir jetzt mit Holzstäbchen aus, deren Durchmesser der Stärke der Sperrholzplatten entspricht, und kleben diese gemäß **Bild 125** an sämtlichen vier Rundungen nacheinander auf. Nun wird über die ganze Anordnung nochmals ein Kartonstreifen geklebt. Etwaige Zwischenräume zwischen den Holzstäbchen und den Sperrholzplatten können mit passenden Kartonstückchen ausgefüllt werden **(Bild 126)**. Nach dem Herausziehen des Holzkernes befestigt man die Frontplatte. Die Rückwand ist, wie üblich, abnehmbar. Das gesamte Gehäuse wird nun mit Leder, Kunstleder oder Furnier überzogen und macht dann einen vorzüglichen Eindruck (vgl. **Bild 127** links).

Nach dem gleichen Prinzip können wir auch Gehäuse für Miniaturempfänger aufbauen. In diesem Falle benötigen wir wieder einen Holzkern, dessen Abmessungen der lichten Weite des Gehäuses entsprechen. Im Gegensatz zu den sonst üblichen Gehäusen haben Miniatur-Ausführungen häufig die Formen moderner Foto-Kameras. Die Rundungen sind also nicht hori-

zontal, sondern vertikal. Ein typisches Miniaturgehäuse besitzt z. B. die Abmessungen 140×75×50 mm.

Wir überkleben zunächst den Holzkern mit Papier, damit wir ihn später leicht von der fertigen Gehäusewand abziehen können. Da Frontseite, Rückwand und die beiden Seitenwände

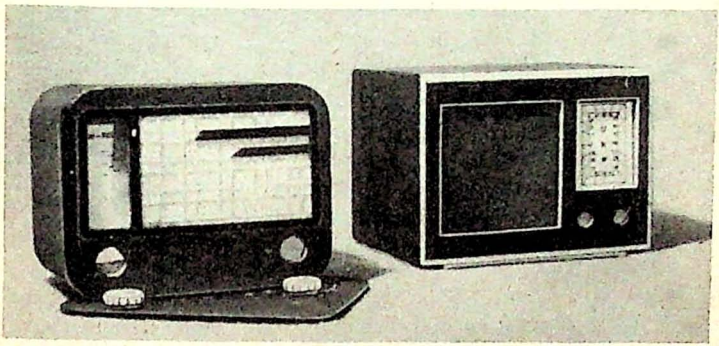


Bild 127. Selbstgebaute Kleingehäuse. (Links: Gehäuse mit runden Ecken; rechts: Viereck-Form)

aus einem Stück bestehen, läßt sich dieser Gehäuseteil lagenweise ähnlich wie eine Spule wickeln. Boden- und Deckplatte werden später aufgesetzt. Die Gehäusewand setzt sich aus mehreren Lagen etwa 0,5...1,2 mm starker Furnierfolie (z. B. Nußbaumfurnier) zusammen. Je mehr Furnierlagen übereinander geklebt werden, desto stabiler wird das Gehäuse.

Boden- und Deckplatte lassen sich aus dünnem Sperrholz anfertigen. An die Deckplatte kleben wir eine der Gehäuseform genau angepaßte, etwa 20 mm hohe Deckwand an. Es entsteht dann eine Haube. Die Seitenwände dieser Haube werden genau so wie der ovale Gehäuseteil auf dem Holzkern aus Furnier gewickelt und geklebt. Da die innerste Furnierlage des ovalen Gehäuseteiles etwa 5 mm aus dem Gehäusekörper herausragt, läßt sich der Deckel so bequem wie z. B. bei einer Zigarettendose aufsetzen oder abnehmen.

Die Deckelwand enthält auf der Lautsprecherseite links und rechts zwei Schlitze für die Durchführung der Rändelscheiben,

die für die Stationsabstimmung und Lautstärkeregelung vorgesehen sind. Wenn man sich mit größerer Einbautiefe abfindet, kann man die Drehknöpfe auch an der Frontseite anbringen.

Es sei noch erwähnt, daß sich das fertige Gehäuse beliebig beizen und dann polieren läßt. Es empfiehlt sich, bei Miniaturempfängern mit Lautsprecherwiedergabe keinen Gehäuseausschnitt für den Lautsprecher zu machen, sondern eine Anzahl kreisförmig angeordneter Löcher zu bohren. Eine solche Lochreihe läßt genügend Schall nach außen dringen, ohne die Stabilität des Empfängergehäuses zu beeinträchtigen.

Meß- und Prüfgeräte, aber auch Verstärker werden vielfach in Metallgehäuse eingebaut. Für größere Abmessungen stehen handelsübliche Stahlblechgehäuse[1]) mit Stahlchassis in gespritzter Ausführung zur Verfügung. Kleinere Gehäuse, auch in Pultform, kann man z. B. ohne größere Schwierigkeiten anfertigen, wenn man von einem Spengler ein Stück verzinktes Eisenblech (z. B. 0,75...1,2 mm stark) so abbiegen läßt, daß Rückwand, Deckwand, Pultseite und Frontseite entstehen. Die beiden Seitenwände werden ausgesägt und mit Hilfe eines 500-Watt-Kolbens angelötet, während die Bodenplatte anzuschrauben ist. **Bild 128** zeigt das Bauprinzip.

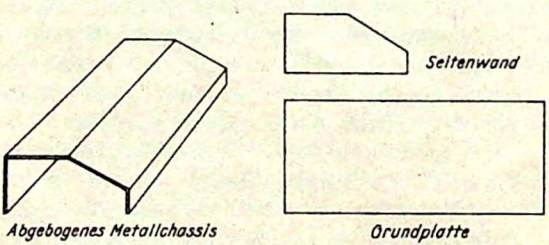


Bild 128. Bauprinzip für kleine Metallgehäuse

In der Selbstbaupraxis haben sich für die verschiedenen Chassisgrößen ganz bestimmte Materialstärken bewährt, die je nach der Art des Baumateriales (Metall, Kunststoff usw.)

---

1) Lieferant: P. Leistner, Hamburg-Altona, Klausstr. 4—6.

verschieden sind. In der untenstehenden Tabelle geben wir eine Zusammenstellung der gebräuchlichen Materialstärken für Chassis aus Eisenblech, Aluminium und Hartpapier. Unter Hartpapier verstehen wir in diesem Zusammenhang das sehr gut geeignete Pertinax.

Die angegebenen Maße beziehen sich auf die Gesamtfläche der Chassismontageplatte. Die Seitenwände sind dabei nicht berücksichtigt. Wenn das Chassis nur zweiseitig abgebogen wird, empfiehlt sich eine Versteifung mit Hilfe von Metallwinkeln, auf die man vor allem beim seltener vorkommenden Pertinax-Chassis nicht verzichten kann. Benutzt man Versteifungswinkel, so können die angegebenen Maße um 1/3 vergrößert werden.

Materialstärke und Chassisgröße

Material	Stärke in mm	Länge in mm	Breite in mm
Eisenblech	0,75	200	100
Eisenblech	1	250	130
Eisenblech	1,5	350	150
Eisenblech	2	500	200
Aluminium	1	200	100
Aluminium	1,5	300	130
Aluminium	2	500	200
Hartpapier	1,5	200	100
Hartpapier	2	250	100
Hartpapier	3	250	130
Hartpapier	5	350	150

Wenn wir das fertige Chassis in das Gehäuse einbauen, müssen wir darauf achten, daß die Achsen der Regler und des Skalenantriebes nicht zu lang oder zur kurz sind. Zu lange Achsen schneidet man mit der üblichen Metallsäge ab. Zu kurze

Achsen können mit Hilfe von Achskupplungen und entsprechend langen Zusatzachsen verlängert werden. Verlängerte und seitlich aus dem Gehäuse herausgeführte Achsen dürfen in der Gehäuseöffnung keinerlei Spiel haben. Führungsbuchsen, deren Lochdurchmesser dem Achsendurchmesser angepaßt sind, sorgen für eine mechanisch einwandfreie Durchführung verlängerter Achsen.

Gewisse Schwierigkeiten kann auch die Gehäuserückwand bereiten. Bei Verstärkern und Meßgeräten, die ein Metallgehäuse benutzen, ist sie stets aus Metall und sollte ausreichend große Entlüftungslöcher für die Wärmeabfuhr aufweisen. Das Bohren von Entlüftungslöchern kann man sparen, wenn handelsübliche Abstrahl-Jalousien verwendet werden, wie sie für die seitlichen 3-D-Lautsprecher in modernen Empfängergehäusen üblich sind. Sie bestehen aus Blech, sind an der Gehäuserückwand nach Aussägen der Öffnung leicht zu montieren und in den Abmessungen günstig (z. B. 85×170 mm).

Holzgehäuse verwenden etwa 2...3 mm starke Rückwände aus Hartpappe oder Hartfaserstoff. Etwa 50...70 % der Gesamtfläche sind mit Entlüftungslöchern auszustatten (7...10 mm Durchmesser). Es ist praktisch, die Rückwand nicht unmittelbar auf die rückwärtigen Gehäusewände zu schrauben, sondern sie versenkt, etwa 10 bis 15 mm tief, im Gehäuseinnern anzubringen. Man kann die Rückwand unten unmittelbar am Chassis, oben und seitlich an festgeleimten Holzklötzchen oder an angeschraubten kleinen Metallwinkeln mit 4-mm-Gewinde befestigen.

Gesamtverzeichnis der RADIO-PRAKTIKER-BÜCHEREI

✶ *Auch als Ganzleinen-Taschenband erhältlich*

1 Moderne Endröhren und ihre Schaltungen
2/2a Die UKW-Röhren und ihre Schaltungen
3 UKW-FM-Rundfunk in Theorie und Praxis
4 UKW-Empfang mit Zusatzgeräten
5 vergriffen
6 Antennen für Rundfunk- und UKW-Empfang
7 Neuzeitliche Schallfolienaufnahme
8 Vielseitige Verstärkergeräte für Tonaufnahme und Wiedergabe
9 Magnetbandspieler-Praxis
10/10a Magnetbandspieler-Selbstbau
11 Mikrofone, Aufbau, Verwendung und Selbstbau
12 Röhrenmeßgeräte in Entwurf und Aufbau
113 Schliche und Kniffe für Radiopraktiker, Teil I
114 Geheimnisse der Wellenlängen
115 Zweikreis-Empfänger
116 Widerstandskunde f. Radio-Prakt.
117 Prüfsender für UKW-Empfänger (UKW-Meßgeräte Teil I)
118/19 Radio-Röhren
200 Methodische Fehlersuche in Rundfunkempfängern
21 Funktechniker lernen Formelrechnen, Band I
22/23 Lehrgang Radiotechnik, Band I
24/25 Lehrgang Radiotechnik, Band II
26 Meß- und Schaltungspraxis für Heimton und Studio
27/27a Rundfunkempfang ohne Röhren
28 Die Glimmröhre u. ihre Schaltungen
29/330 Kleines ABC der Elektroakustik
31/332 Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure, Teil I
33 Röhrenvoltmeter
34 Einzelteilprüfung
35 Wegbereiter der Funktechnik
36 Die Prüfung des Zwischenfrequenz-Verstärkers und Diskriminators beim UKW-Empfänger (UKW-Meßgeräte, Teil II)
37/38 Fehlersuche durch Signalverfolgung und Signalzuführung
39/40 Die Fernsehröhren und ihre Schaltungen
41 Kurzwellenempfänger f. Amateure
42 Funktechniker lernen Formelrechnen, Band II
43 Musikübertragungs-Anlagen
44 Kurzwellen-Amateurantennen für Sendung und Empfang
45/46 UKW-Sender- und Empfänger-Baubuch für Amateure
47 Moderne Reiseempfänger
48 Kleines Praktikum der Gegenkopplung
49 UKW-Hand-Sprechfunk-Baubuch
50 Praktischer Antennenbau
51 Fernseh-Bildfehler-Fibel
✶52/54c Kleine Fernsehempfangs-Praxis
55/56 Fernsehtechnik von A bis Z
57 Tönende Schrift
58 Morselehrgang
59 Funk-Entstörungs-Praxis
60 Die Widerstand-Kondensator-Schaltung
61 Nomogramme als Hilfsmittel für den Funktechniker
62 Englisch für Radiopraktiker
✶63/65a Moderne Schallplattentechnik
66/67 Sender-Baubuch für Kurzwellen-Amateure, Teil II
✶68/70 Formelsammlung für den Radio-Praktiker
✶71 Bastelpraxis, Band I
72/73 Drahtlose Fernsteuerung von Flugmodellen
74 Einkreis-Empfänger mit Röhren und Transistoren
75 So gleicht der Praktiker ab
✶76 Bastelpraxis, Band II
77 Der Selbstbau von Meßeinrichtungen für die Funkwerkstatt
78 Schwebungssummer
✶79/79a Bastelpraxis, Band III
80/80a Das Spulenbuch
✶81/83a Die elektrischen Grundlagen der Radiotechnik
84 Fernsehantennen-Praxis
85 Hi-Fi-Schaltungs- und -Baubuch
86/87 Berufskunde des Radio- und Fernsehtechnikers
88 Schliche und Kniffe für Radiopraktiker, Teil II
89/90a Autoempfänger
91/92 Superhet-Empfänger
93/94 Fernsteuerschaltungen mit Transistoren für Flugmodelle
95/96 Fotozellen und ihre Anwendung
97/98 Kleines Stereo-Praktikum
99 Wie arbeite ich mit dem Elektronenstrahl-Oszillografen?

Technikus-Bücherei

Herbert G. Mende

Nr. 1 **Elektronik und was dahinter steckt.**
96 Seiten mit 57 Bildern. **2. Auflage.**

Dr. J. Hausen

Nr. 2 **Werkstoffe aus der Retorte.**
Eine Einführung in die Kunststoff-Technik.
96 Seiten mit 35 Bildern und 12 Tabellen.

Karl Ernst Wacker

Nr. 3 **Das Fahrrad und was dahinter steckt.**
96 Seiten mit 65 Bildern.

Herbert G. Mende

Nr. 4 **Das Buch von der Kamera.**
96 Seiten mit 35 Bildern und 4 Tabellen.

Heinrich Kluth

Nr. 5 **Wege zur Farbenfotografie.**
96 Seiten mit 23 Bildern und 2 Farbtafeln.
3. Auflage.

Dipl.-Ing. Helmut Pitsch

Nr. 6 **Der Weg zum Patent.**
Das Wichtigste für die Anmeldung eines Patentes, Gebrauchsmusters, Warenzeichens und Geschmacksmusters und für das Verfahren vor dem Patentamt.
96 Seiten mit 3 Bildern und vielen Beispielen. **2. Auflage.**

Herbert G. Mende

Nr. 7 **Die Wünschelrute und was dahinter steckt.**
96 Seiten mit 19 Bildern und 3 Tabellen.

Dr. Hans Schmidt

Nr. 8 **Die physikalischen Grundlagen der Musik.**
96 Seiten mit 26 Bildern.

Gerd Bender

Nr. 9 **Das elektronische Foto-Blitzgerät.**
96 Seiten mit 46 Bildern und 7 Tabellen.

Herbert G. Mende

Nr. 10 **Radar in Natur, Wissenschaft und Technik.**
96 Seiten mit 30 Bildern und 2 Tabellen.

St. M. Zentzytzki

Nr. 11 **Moped und Roller.** Aufbau - Arbeitsweise - Betrieb.
96 Seiten mit 42 Bildern.

Jeder Band 96 Seiten stark mit mehrfarbigem Umschlag und Leinenrücken kostet 2,20 DM.

FRANZIS-VERLAG, MÜNCHEN